

UFRRJ

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

DISSERTAÇÃO

**Estudo de misturas de cereais integrais processadas por extrusão
termoplástica**

Vanessa Coelho da Silva Toledo

2015



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS**

**ESTUDO DE MISTURAS DE CEREAIS INTEGRAIS
PROCESSADAS POR EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA**

VANESSA COELHO DA SILVA TOLEDO

Sob a Orientação do Professor
Carlos Wanderlei Piler de Carvalho

e Co-orientação do Professor
José Luis Ramírez Ascheri

Dissertação submetida como
requisito parcial para obtenção do
grau **de Mestre em Ciências**, no
Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de
Alimentos. Área de Concentração
em Tecnologia de Alimentos.

Seropédica, RJ
Abril de 2015

664.72

T649e

T

Toledo, Vanessa Coelho da Silva, 1982-
Estudo de misturas de cereais
integrais processadas por extrusão
termoplástica /Vanessa Coelho da Silva
Toledo. - 2015.
103f. : il.

Orientador: Carlos Wanderlei Piler de
Carvalho.

Dissertação (mestrado) -
Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro, Curso de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Bibliografia: f. 78-94.

1. Cereais - Processamento - Teses.
2. Grãos - Extrusão - Teses. 3. Cereais
como alimento - Teses. 4. Alimentos -
Teor fibroso - Teses. 5. Glúten -
Teses. I. Carvalho, Carlos Wanderlei
Piler de, 1967- II. Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso
de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

VANESSA COELHO DA SILVA TOLEDO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração em Tecnologia dos Alimentos.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 15/04/2015

**Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho (Embrapa Agroindústria de Alimentos)
(Orientador)**

**Dra. Cristiane Hess de Azevedo Meleiro (UFRRJ)
(Membro)**

**Dra. Cristina Yoshie Takeiti (Embrapa Agroindústria de Alimentos)
(Membro)**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,

Por todo amor, investimento, incentivo, ajuda, orações e por sempre acreditarem no meu sucesso e realização pessoal e profissional.

Ao meu esposo e filhos,

Pela compreensão de minha ausência, mesmo presente fisicamente, e pelo amor incondicional. Vocês são meu estímulo.

Ao meu irmão e cunhada,

Pelo apoio, amizade, amor e carinho que demonstraram durante este período.

Aos meus familiares e amigos,

Pelo carinho, por todo o incentivo e demonstração de esperança em minha vitória.

A todos vocês,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por sua presença constante, concedendo saúde, força e sabedoria para superar todas as adversidades que surgiram ao longo da minha caminhada; e por me mostrar que vale apena ter bom ânimo.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), especialmente ao Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), pela oportunidade concedida para a realização do curso.

A Embrapa Agroindústria de Alimentos pelas instalações cedidas para a execução deste estudo. Embrapa Arroz e Feijão e Embrapa Milho e Sorgo pela doação das amostras.

Ao Ph.D. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho pela orientação no trabalho desenvolvido, pelo estímulo, testemunho, solicitude sempre que necessário, incentivo e atenção dedicada a mim.

Ao D.Sc. Jose Luis Ramirez Ascheri, pela prontidão, testemunho, pelo apoio, presteza, incentivo.

A amiga, (mais chegada que uma irmã), Isabela Lobo de Moraes por toda boa influência, grande demonstração de carinho e por participar da minha formação profissional, acadêmica e pessoal. Esta amizade vem de Deus.

Aos analistas e assistentes da Embrapa Agroindústria de Alimentos que contribuíram de forma direta ou indireta na execução deste trabalho, pela colaboração e apoio, e em especial ao doutorando Jhony Willian Vargas Solórzano, pela orientação e ajuda na elaboração deste trabalho; entre outros.

RESUMO

TOLEDO, Vanessa Coelho da Silva. **Estudo de misturas de cereais integrais processados por extrusão termoplástica.** 2015. 103p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2015.

A tecnologia de extrusão permite com eficiência energética, com mínima de resíduos e, de forma contínua, o processamento de cereais. Este tecnologia tem sido usada para gerar produtos de baixo valor nutricional e calóricos, com baixo teor de fibra alimentar, altos teores de gorduras e açúcares. A utilização de matérias primas à base de grãos integrais de arroz, milho e sorgo, para a elaboração de produtos para pronto consumo, além de ser excelente fonte de fibras, se faz uma boa alternativa para doentes celíacos e/ou com restrição a glúten. O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da mistura dos cereais integrais (arroz, milho e sorgo), submetidos ao processo de extrusão termoplástica. Tais misturas foram processadas em um extrusor de laboratório de rosca simples nas seguintes condições, as quais foram mantidas constantes: umidade das misturas a 14%, velocidade de rotação do parafuso a 200 rpm, temperatura das zonas de aquecimento do extrusor (da zona de alimentação até a saída da matriz): 1^a zona – 50°C, 2^a - 100 e 3^a - 130, alimentador vertical helicoidal na rotação de 15 rpm (~5 kg/h). Como delineamento experimental, foram utilizadas frações variadas das farinhas dos cereais integrais (milho, arroz, sorgo). O Tratamento 1 (T1) foi composto de 70% de milho; 15% de arroz e 15% de sorgo; T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%); sendo T7 a T10 pontos centrais. As farinhas integrais de cada um dos cereais foram analisadas quanto a sua composição centesimal e distribuição granulométrica. As variáveis respostas durante o processamento de extrusão foram: vazão de alimentação das misturas e energia mecânica específica (EME); densidade aparente; índices de expansão (radial, longitudinal e volumétrico); caracterização por imagens; textura instrumental; viscosidade de pasta; índices de absorção (IAA) e solubilidade em água (ISA). As variações entre os tratamentos foram principalmente atribuídas à composição centesimal, em particular, o teor de fibra alimentar de cada amostra. Observou-se que o aumento do teor de fibra na mistura, levou à redução da expansão radial dos extrudados, como esperado. As misturas com maior teor de arroz integral (Tratamentos T2 e T4) foram aquelas que apresentaram maior expansão radial, o que foi atribuído ao menor teor de fibra presente na farinha de arroz, como esperado. O maior resultado de EME foi evidenciado no tratamento com maior teor de farinha de milho e de sorgo (T5). A análise de textura instrumental também destacou a crocância (maior Nsr) dos tratamentos com maior porção de arroz (T2 e T4). O tratamento com maior fração de milho (T1), alcançou a maior viscosidade de pasta. Já o tratamento T2, se destacou também por apresentar baixo valor para ISA. O tratamento do ponto central (T8) foi o de maior valor. Foi possível obter a partir das misturas dos tratamentos T2 e T4, produtos de maior crocância, expansão e melhor distribuição interna das células ar; sendo, portanto, os tratamentos recomendados para produção de extrudados.

Palavras-chave: Extrudados. Fibras. Glúten. Arroz. Milho. Sorgo.

ABSTRACT

TOLEDO, Vanessa Coelho da Silva. **Study of whole grain mixes processed by extrusion thermoplastic.** 2015. 103p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2015.

The extrusion technology enables energy-efficient, with minimal waste and continuously, the processing of cereals. This technology has been used to generate low nutritional and caloric value products, low in dietary fiber, high fat and sugars. The use of raw materials based on whole grain rice, maize and sorghum for the production of products ready for consumption, besides being an excellent source of fiber, it is a good alternative for patients celiac and / or gluten restriction. The objective of this work was to study the effect of the mixture of whole grains (rice, maize and sorghum), submitted to the thermoplastic extrusion process. These mixtures were processed on a single screw lab extruder in the following conditions, which were held constant: Moisture mixtures of 14%, screw rotational speed of 200 rpm, temperature of the heating zones of the extruder (feeding zone until the output of the matrix): 1st Zone - 50 ° C, 2nd - and 3rd 100 - 130, the vertical feeder screw rotation of 15 rpm at (-5 kg / hr). As experimental design, various fractions of whole grain flours were used (corn, rice, sorghum). Treatment 1 (T1) consisted of 70% corn; 15% rice, and 15% sorghum; T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42.5%; 42.5%; 15%); T5: (42.5%; 15%; 42.5%); T6: (15%; 42.5%; 42.5%); T10: (33.3%; 33.3%; 33.3%); T7 and T10 central points. The whole grain flour for each of the cereals were analyzed for their proximate composition and particle size distribution. The response variables during the extrusion process were: feed rate of mixtures and specific mechanical energy (EME); bulk density; Expansion indices (radial, longitudinal and volume); characterization by images; instrumental texture; paste viscosity; absorption index (WAI) and water solubility (ISA). Variations between treatments were mainly attributed to their composition, in particular the dietary fiber content of each sample. It was observed that increasing fiber content in the mixture led to the reduction in radial expansion of extruded, as expected. Mixtures with more brown rice content (T2 and T4 treatments) were those who had higher radial expansion, which was attributed to lower this fiber content in rice flour, as expected. The best result was shown EME the treatment with higher corn meal content and sorghum (T5). The instrumental texture analysis also highlighted the crispness (higher Nsr) treatments more rice portion (T2 and T4). Treatment with higher fraction of corn (T1), achieved the highest paste viscosity. But the T2 treatment, also pointed to present low value for ISA. The treatment of central point (T8) has the greatest value. It could be obtained from mixtures of T2 and T4, more crispness product, expansion and better distribution of the internal air cells; It is therefore recommended treatment for producing extruded.

Key words: Extruded. Fibers. Gluten. Rice. Corn. Sorghum.

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| Tabela 1. | Composição centesimal média (% na matéria seca) de arroz integral, branco polido e parboilizado polido | 6 |
| Tabela 2. | Concentração de minerais em arroz integral e branco polido..... | 7 |
| Tabela 3. | Conteúdo de vitaminas (µg g-1 com 14% de umidade) em arroz integral e branco polido.8 | |
| Tabela 4. | Percentagem do constituinte total indicado nas estruturas físicas específicas do grão de milho | 10 |
| Tabela 5. | Oferta e Consumo mundiais de sorgo, em milhões de toneladas..... | 12 |
| Tabela 6. | Composição das misturas para a produção de extrusados expandidos formulados com farinhas de multicereais integrais | 31 |
| Tabela 7. | Composição química aproximada dos grãos integrais de arroz, milho e sorgo | 42 |
| Tabela 8. | Perfil de minerais dos grãos integrais de arroz, milho e sorgo | 43 |
| Tabela 9. | Granulometria das farinhas integrais de arroz, milho e sorgo | 45 |
| Tabela 10. | Composição química aproximada de arroz, milho, sorgo e tratamentos (misturas de farinhas integrais) | 47 |
| Tabela 11. | Perfil de minerais de arroz, milho, sorgo e tratamentos (misturas de farinhas integrais ... | 49 |
| Tabela 12. | Densidade aparente de extrudados de misturas de farinhas integrais de arroz, milho, sorgo | 51 |
| Tabela 13. | Resumo dos parâmetros de Extrusão de amostras de mistura de farinha | 54 |
| Tabela 14. | Índices de expansão dos extrudados de diferentes tratamentos à base de farinha de multicereais integrais (arroz, milho e sorgo..... | 57 |
| Tabela 15. | Comparação entre quantidade de fibra, IER e DA dos tratamentos T1, T3, T5 | 57 |
| Tabela 16. | Textura dos extrudados de mistura de farinhas de grãos integrais (arroz, milho e sorgo .. | 64 |
| Tabela 17. | Resumo dos parâmetros de RVA para amostras cruas das farinhas de milho, arroz e sorgo | 68 |
| Tabela 18. | Parâmetros de RVA para amostras extrudadas..... | 70 |
| Tabela 19. | Resumo de ISA e IAA | 74 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Produção e consumo de arroz. Fonte: Elaboração da AGE/Mapa e SGE/Embrapa (BRASIL, 2013)..... | 3 |
| Figura 2. Representação do grão de arroz. (ICTA/UFRGS, 2015)..... | 4 |
| Figura 3. Representação do grão de arroz - camadas (ICTA/UFRGS, 2015)..... | 5 |
| Figura 4. Representação do grão de arroz – integral e polido (ICTA/UFRGS, 2015)..... | 5 |
| Figura 5. Anatomia do grão de milho e suas partes (AES, 2006)..... | 10 |
| Figura 6. Produção de sorgo nos maiores produtores mundiais, entre 2010 e 2013 (CONAB, 2014) 12 | 12 |
| Figura 7. Esquema de um grão de sorgo (EARP et al., 2004b) | 14 |
| Figura 8. Representação da cadeia de amilose (A) e amilopectina (B) (BULÉON, 1998)..... | 17 |
| Figura 9. Curva de viscosidade de pasta de grits de milho cru (granulometria ajustada na faixa de 106 e 212 μm). Vini: viscosidade inicial; Vmáx: viscosidade máxima; Vmín: viscosidade mínima; Vfin: viscosidade final; QV: quebra da viscosidade; TR: tendência à retrogradação (Adaptado de NASCIMENTO, 2010)..... | 18 |
| Figura 10. Estrutura do glúten: gliadina e glutenina (TEDRUS, 2001) | 20 |
| Figura 11. Vilosidade intestinal: epitélio normal (esquerda) e epitélio de portador da DC não tratado (direita), caracterizado por infiltração de linfócitos intra-epiteliais e achatamento das vilosidades (GREEN, 2003)..... | 21 |
| Figura 12. Diagrama esquemático de um extrusor (Carvalho, 2001)..... | 23 |
| Figura 13. Ilustração esquemática de extrusor de único parafuso (Fraiha, 2008) | 24 |
| Figura 14. Grãos integrais de Arroz com casca | 26 |
| Figura 15. Beneficiadora de arroz de bancada (Suzuki S/A, Santa Cruz do Rio Pardo, SP, Brasil)..... | 26 |
| Figura 16. Grãos integrais de Arroz (A); Milho (B); e Sorgo (C) | 27 |
| Figura 17. Aspecto visual das farinhas de sorgo (A) e arroz (B)..... | 27 |
| Figura 18. Fluxograma do processamento e das análises realizadas nas matérias primas e nos extrudados | 28 |
| Figura 19. Conjunto de peneiras antes da montagem no agitador de peneiras (não mostrado)..... | 30 |
| Figura 20. Visão geral das regiões do delineamento de uma mistura simples de três componentes (BORSATO, 2010)..... | 31 |
| Figura 21. Farinhas integrais de Arroz (A); Milho (B); e Sorgo (C) | 32 |
| Figura 22. Mistura de farinhas de Arroz; Milho e Sorgo (Ponto central; Tabela 6) | 32 |

| | |
|---|----|
| Figura 23. Fluxograma de preparo das farinhas mistas | 33 |
| Figura 24. Extrusora de laboratório de parafuso único 19/20 DN (Brabender, Duisburg, Alemanha) acoplada em um reômetro de torque Plasti-Corder Lab Station (Brabender, Duisburg, Alemanha) | 35 |
| Figura 25. Fluxograma do processo de extrusão das farinhas mistas | 36 |
| Figura 26. Aspecto visual das matérias primas, arroz, sorgo e milho integrais antes da moagem (A), após a moagem (B), após a mistura (1:1:1), (C) e após o processamento por extrusão (D) | 37 |
| Figura 27. Imagem do extrudado expandido com (33,3% de arroz, 33,3% de milho e 33,3% de sorgo - ponto central..... | 38 |
| Figura 28. Representação gráfica do resultado típico da força de compressão aplicada sobre um extrudado expandido (Adaptado de BOUVIER et al., 1997)..... | 39 |
| Figura 31. Quantificação de fibra alimentar nas farinhas integrais de arroz, milho e sorgo; e nos tratamentos. Porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3) | 48 |
| Figura 32. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o comportamento da densidade aparente dos extrudados | 52 |
| Figura 33. Superfície de resposta do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo sobre comportamento da densidade aparente dos extrudados | 53 |
| Figura 34. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o comportamento da energia mecânica específica..... | 55 |
| Figura 35. Superfície de resposta do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo sobre comportamento da energia mecânica específica | 56 |
| Figura 36. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o índice de expansão radial/seccional dos extrudados | 58 |
| Figura 37. Superfície de resposta do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo sobre o índice de expansão radial/seccional dos extrudados | 59 |
| Figura 38. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o índice de expansão longitudinal dos extrudados | 60 |
| Figura 39. Superfície de resposta do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo sobre o índice de expansão longitudinal dos extrudados..... | 60 |
| Figura 40. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o índice de expansão volumétrico dos extrudados | 61 |

| | |
|---|----|
| Figura 41. Superfície de resposta do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo sobre o índice de expansão longitudinal dos extrudados | 62 |
| Figura 42. Imagens de expandidos feitas em scanne. Porcentagem de farinhas integrais por tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%) | 63 |
| Figura 43. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre a frequência de rupturas (Nsr) dos extrudados | 64 |
| Figura 44. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre a força de compressão (Fc) dos extrudados | 65 |
| Figura 45. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre a força específica de ruptura (Fsr) dos extrudados | 66 |
| Figura 46. Superfície de resposta do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo sobre a força específica de ruptura (Fsr) dos extrudados..... | 66 |
| Figura 47. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o trabalho de crocância (Wc) dos extrudados..... | 67 |
| Figura 48. Perfis das curvas de viscosidade de pasta de farinha de grão de arroz, milho e sorgo..... | 68 |
| Figura 49. Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos extrudados de misturas de farinhas de arroz, milho e sorgo. Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%) | 71 |
| Figura 50. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o índice de solubilidade em água (ISA) dos extrudados | 75 |
| Figura 51. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o índice de absorção de água (IAA) dos extrudados | 76 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 01 |
| 1.1 Objetivos..... | 01 |
| 1.1.1 Objetivo geral..... | 01 |
| 1.1.2 Objetivos específicos..... | 01 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 02 |
| 2.1 Cereais Integrais | 02 |
| 2.2 Arroz..... | 03 |
| 2.2.1 Estrutura e composição do grão de arroz..... | 04 |
| 2.3 Milho..... | 09 |
| 2.3.1 Estrutura e composição do grão de milho..... | 09 |
| 2.4 Sorgo..... | 10 |
| 2.4.1 Estrutura e composição do grão de sorgo..... | 13 |
| 2.5 Definição de Fibra e suas Principais Fontes na Dieta..... | 15 |
| 2.5.1 Fibras insolúveis..... | 15 |
| 2.5.2 Fibras solúveis..... | 16 |
| 2.6 Amido: Principal Componente dos Cereais..... | 16 |
| 2.7 Cereais Sem Glúten e Doença Celíaca..... | 19 |
| 2.8 Processamento de Cereais por Extrusão..... | 22 |
| 2.8.1 Fatores que afetam a expansão de produtos extrudados..... | 25 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 26 |
| 3.1 Local de Execução..... | 26 |
| 3.2 Matéria-Prima..... | 26 |
| 3.2.1 Arroz, milho e sorgo..... | 26 |
| 3.3 Métodos..... | 27 |
| 3.3.1 Preparo das amostras para análises..... | 27 |
| 3.3.2 Análises físico-químicas das matérias primas..... | 28 |
| 3.3.2.1 Determinação da composição centesimal..... | 28 |
| 3.3.2.2 Determinação da composição de carboidratos totais..... | 29 |
| 3.3.2.3 Determinação da composição de minerais..... | 29 |
| 3.3.2.4 Determinação da composição de fibra alimentar..... | 29 |
| 3.3.3 Determinação da distribuição granulométrica..... | 29 |
| 3.3.4 Delineamento experimental..... | 30 |
| 3.3.5 Analise estatística..... | 31 |
| 3.3.6 Preparo da amostra para extrusão: farinha integral..... | 32 |
| 3.3.7 Caracterização da umidade..... | 34 |
| 3.3.8 Processo de extrusão..... | 34 |
| 3.3.8.1 Condições de processo..... | 34 |
| 3.3.8.2 Obtenção dos extrudados..... | 35 |
| 3.3.9 Propriedades físicas dos produtos extrudados..... | 37 |
| 3.3.9.1 Determinação da vazão do processo de extrusão e densidade aparente | 37 |
| 3.3.9.2 Determinação da energia mecânica específica (EME)..... | 38 |
| 3.3.9.3 Determinação do índice de expansão..... | 38 |
| 3.3.9.4 Caracterização por imagens..... | 39 |
| 3.3.9.5 Determinação de textura..... | 39 |
| 3.3.9.6 Determinação da viscosidade de pasta..... | 40 |

| | |
|--|-----------|
| 3.3.9.7 Determinação do índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)..... | 41 |
| 3.3.9.8 Determinação da composição química, minerais e fibras dos extrudados..... | 41 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 42 |
| 4.1 Caracterização Físico-Química das Matérias Primas..... | 42 |
| 4.2 Determinação da Distribuição Granulométrica das Farinhas de Arroz, Milho e Sorgo..... | 45 |
| 4.3 Composição Química, Fibra Alimentar e Minerais dos Extrudados..... | 46 |
| 4.4 Densidade Aparente (DA)..... | 51 |
| 4.5 Energia Mecânica Específica (EME)..... | 53 |
| 4.6 Índice de Expansão (IE)..... | 56 |
| 4.7 Imagem..... | 62 |
| 4.8 Textura Instrumental..... | 63 |
| 4.9 Viscosidade de Pasta (RVA)..... | 68 |
| 4.10 Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção de Água (IAA)..... | 73 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 77 |
| 6 REFERÊNCIAS..... | 78 |
| ANEXOS..... | 95 |

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização tem trazido consigo distúrbios alimentares importantes como as doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), que tem crescido muito não só no Brasil, mas também em diversos países. Os alimentos hoje em dia, são produzidos em larga escala em lavouras mecanizadas e vendidos numa ampla rede varejista. Uma crescente quantidade de produtos chega aos consumidores após serem processados ou industrializados, contendo altos teores de açúcares, gorduras, sal e aditivos químicos. Isso, somado a outros aspectos da vida moderna, como a baixa atividade física e o estresse, tem afetado a vida da população de forma negativa.

Além da realidade do hábito alimentar inadequado, muitas pessoas apresentam patologias que as restringem quanto ao consumo de glúten, como o caso dos doentes celíacos. Segundo a Associação dos Celíacos do Brasil, portadores de doença celíaca transgridem a dieta por vários motivos e um deles é a falta de opção alimentar, pois não podem consumir alimentos que contenham glúten.

Atualmente, observa-se, uma busca por melhor educação alimentar e interesse quanto ao consumo de uma alimentação completa, em que macro e micronutrientes estejam presentes e de forma equilibrada. Nesse contexto, observa-se interesse crescente no que diz respeito aos carboidratos, não somente por responderem por mais da metade da energia que deve ser consumida diariamente, como também pela questão da escolha entre as fontes dietéticas.

O Guia Alimentar para a População Brasileira (2014), elaborado pelo Ministério da Saúde, traz diretrizes e recomendações relevantes para a prevenção de doenças e promoção da saúde. As recomendações são baseadas na alimentação saudável que buscam promover a saúde, combatendo a desnutrição, esta em forte declínio em todo o país. Além disso, levam à prevenção de enfermidades em ascensão, como a obesidade, o diabetes e os problemas advindos das DCNT, como acidente vascular cerebral (AVC), infarto e câncer.

Uma das recomendações do Guia Alimentar é que a alimentação tenha como base, o consumo de alimentos integrais e frescos. Desta forma, os cereais integrais são de grande importância para regulação da função do intestino, pelo seu conteúdo de fibra alimentar, além de serem fonte de minerais e de vitaminas.

Portanto, produtos à base de farinhas de multicereais integrais, com alto teor de fibra alimentar e isentas de glúten, podem ser uma boa opção para a manutenção da qualidade de vida da população, inclusive para as pessoas com restrição ao glúten.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar misturas de farinhas de cereais integrais isentos de glúten à base de arroz, milho e sorgo, analisá-las e recomendar o melhor tratamento para elaboração de produto expandido, com alto teor de fibras.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Produzir produtos expandidos diretos, por meio do processo de extrusão termoplástica, usando misturas multicereais integrais à base de arroz, milho e sorgo;
- Analisar físico-quimicamente, as misturas de farinhas de cereais cruas e extrudadas.
- Recomendar a melhor condição de processo para obtenção de produtos expandidos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cereais Integrais

Os grãos integrais são componentes importantes na dieta humana, os quais aportam fito-químicos únicos que complementam aos das frutas e vegetais quando são consumidos juntos. O trigo, arroz e milho são os principais grãos e mais utilizados da dieta humana. Os grãos menores incluem a aveia, cevada, centeio, triticale, sorgo, painço e o trigo sarraceno (LIU, 2007).

Atualmente, recomenda-se o aumento do consumo de produtos derivados de grãos integrais devido ao seu papel na redução do risco de doenças crônicas degenerativas. É comum que os cereais integrais sejam considerados saudáveis por serem ricos em fibras (AZEVEDO et al., 2014).

De fato, muitos são os benefícios já comprovados referentes ao maior consumo de fibras provenientes dessa fonte, como redução dos níveis de colesterol (MAKI et al, 2010; ESMAILZADEH, 2005), controle de pressão arterial (BEHALL et al., 2006), diminuição da incidência de câncer (HAAS et al, 2009), maior controle do diabetes (PETRUZZIELLO et al., 2006; MUNTER et al., 2007; WILLIAMS et al., 2008; SAHYOUN et al., 2008; HANS HAUNER et al., 2012; HUR et al., 2012; BERNAUD et al, 2013), prevenção da constipação intestinal (LEE et al., 2008; HOLMA et al., 2010) e maior saciedade, ajudando no controle da ingesta alimentar em indivíduos obesos (GOOD et al, 2008; MAKI, 2010).

Cabe destacar ainda que outros nutrientes presentes na casca, na camada externa do grão e no germe, também apresentam importantes benefícios à saúde, individual ou sinergicamente como, por exemplo, atividade antioxidante (MILLER et al, 2006) (vitamina E, compostos fenólicos, tocotrienóis, fitoestrógenos) e maior oferta de minerais (ferro, zinco, cálcio, magnésio) (KLOOTS et al., 2004) e de vitaminas (tiamina, niacina) (MELANSON et al., 2006).

Além disso, de um modo geral, produtos de cereais são fontes reconhecidas de fibra alimentar e de muitos componentes bioativos, tais como ácidos fenólicos, fitoesteróis, minerais, tocoferóis e tocotrienóis. Estas substâncias estão concentradas, principalmente, no germe e na camada externa das sementes e dos grãos (NILSSON et al., 1997, MIRANDA et al., 2014). Desta forma, para a produção de alimentos funcionais ou mais saudáveis, mantendo estas substâncias no produto final, tem sido recomendada a utilização de ingredientes oriundos do grão integral.

Segundo Ragaee e Abdel Aal (2006), o desenvolvimento de novos produtos poderia estimular o consumo de cereais integrais, o que resultaria no aumento da ingestão de fibra e de outros componentes benéficos à saúde.

Farelos de grãos ricos em fibras insolúveis têm sido utilizados na produção de barras de cereais, pães e cereais matinais, mas a palatabilidade deles tem limitado o nível de adição dos mesmos (DUTCOSKY et al., 2006). Geralmente, as indústrias utilizam cereais/farinhas refinados em seus processos com a justificativa de que trazem benefícios ao produto e à manutenção da qualidade tecnológica, todavia, tais alimentos, em sua maioria, perdem importantes nutrientes presentes na casca e no germe (FROLICH, 2010).

2.2 Arroz

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos cereais de maior produção e consumo em todo o mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. Além disso, ele é consumido principalmente em países em desenvolvimento, tais como o Brasil, o que o faz ocupar papel de destaque tanto em níveis econômico e social (FAO, 2006; WALTER, 2008).

Seu maior consumo é na forma de grão beneficiado ou polido. Apenas uma pequena quantidade de arroz é consumida como ingrediente em produtos processados. O arroz é uma excelente fonte de energia, devido à alta concentração de amido, além de proteínas, vitaminas e minerais, e possui baixo teor de lipídios. Nos países em desenvolvimento, onde o arroz é um dos principais alimentos da dieta, ele é responsável por fornecer, em média, 715 kcal per capita por dia, 27% dos carboidratos, 20% das proteínas e 3% dos lipídios da alimentação (KENNEDY et al., 2002).

Diversos estudos relatam efeitos benéficos à saúde do consumo de cereais integrais, como auxílio no controle da glicose sanguínea, redução dos lipídios séricos e da pressão arterial, entre outros, auxiliando na prevenção e no controle de doenças crônicas, como diabetes e doenças cardiovasculares (XIA et al., 2003; WALTER, 2008). Esses efeitos estão relacionados a compostos no grão, sendo portanto, afetados por diferentes fatores, principalmente pela característica genotípica e pelo processamento.

O Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz e colheu 11,26 milhões de toneladas na safra de 2009/2010. A produção nacional de arroz está distribuída pelos seguintes estados: Rio Grande do Sul, 64,4% da produção nacional, Santa Catarina, 8,3%, Mato Grosso, 5,4% e Maranhão, 4,4% (CONAB, 2011).

A produção mundial de arroz em 2013 expandiu aproximadamente 1,9% chegando a 500 milhões de toneladas. As projeções de produção e consumo de arroz, avaliadas pela Assessoria de Gestão Estratégica do Mapa, mostram que o Brasil vai colher 14,12 milhões de toneladas de arroz na safra de 2019/2020. Isto equivale ao aumento anual da produção de 1,15% nos próximos dez anos. O consumo deverá crescer a uma taxa média anual de 0,86%, alcançando 14,37 milhões de toneladas em 2019/2020 (Figura 1) (BRASIL, 2013).

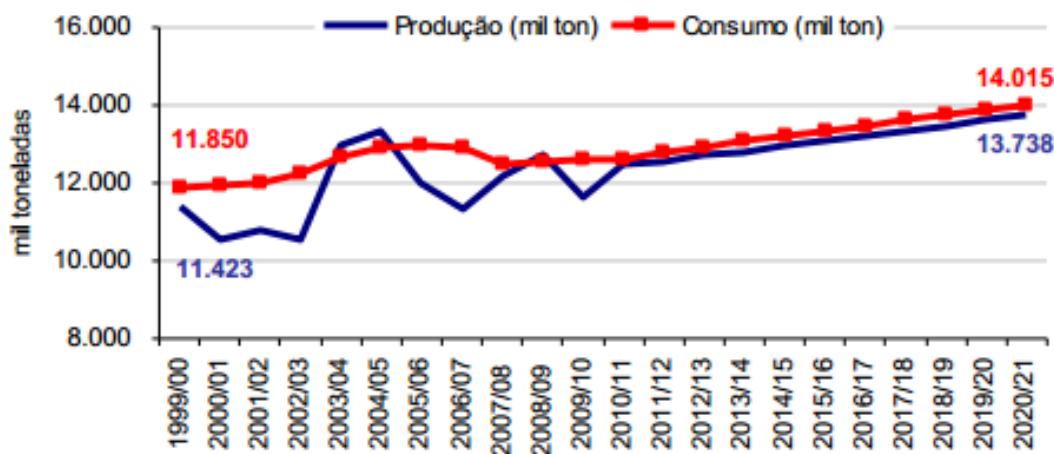


Figura 1. Produção e consumo de arroz. Fonte: Elaboração da AGE/Mapa e SGE/Embrapa. (BRASIL, 2013).

Assim, a importação projetada para o final do período é de 652,85 mil toneladas. A taxa anual projetada para o consumo de arroz nos próximos anos, de 0,86%, está pouco abaixo da expectativa de crescimento da população brasileira (BRASIL, 2013).

A produção projetada para 2022/2023 é de 13,75 milhões de toneladas (Figura 1), e um consumo de 13,2 milhões de toneladas. Projeta-se um aumento de 11,1% na produção de arroz nos próximos 10 anos. Esse acréscimo de produção deverá ocorrer especialmente por meio do crescimento do arroz irrigado.

Mas se houver expansão da produção em outros estados que não o Rio Grande do Sul, a produção projetada pode situar-se mais próxima do seu limite superior que é de 16,9 milhões de toneladas em 2022/23. O aumento projetado para a produção aparentemente é baixo, mas ele equivale à projeção do consumo nos próximos 10 anos (BRASIL, 2013).

A relativa estabilização do consumo projetado do arroz é condizente com os dados de suprimento da Conab (2013) de nos últimos anos, ser por volta de 12 milhões de toneladas.

As estimativas para a projeção de área plantada de arroz mostram que deverá ocorrer redução de área nos próximos anos. Pelas projeções pode cair de 2,23 milhões de hectares em 2012/13 para 1,50 milhão de hectares em 2022/23 (BRASIL, 2013).

2.2.1 Estrutura e composição do grão de arroz

O grão de arroz integral é composto por uma casca externa, pelo farelo e pelo grão propriamente dito (Figura 2). A casca apresenta duas folhas modificadas, a pálea e a lema, que corresponde a cerca de 20% do peso do grão. A cariopse é formada por diferentes camadas, sendo as mais externas o pericarpo, o tegumento e a camada de aleurona, que representam 5-8% da massa do arroz integral. A camada de aleurona apresenta duas estruturas de armazenamento proeminentes, os grãos de aleurona (corpos proteicos) e os corpos lipídicos. O embrião ou germe está localizado no lado ventral na base do grão, é rico em proteínas e lipídios, e representa 2-3% do arroz integral (JULIANO; BECHTEL, 1985).

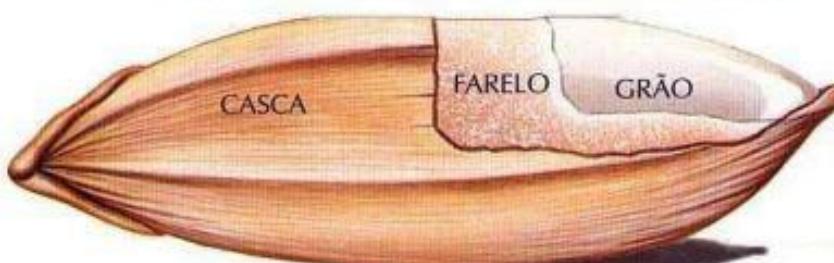


Figura 2. Representação do grão de arroz. (ICTA/UFRGS, 2015).

O endosperma forma a maior parte do grão (89-94% do arroz integral) e apresenta células ricas em grânulos de amido e com alguns corpos proteicos (JULIANO; BECHTEL, 1985) (Figura 3).

O arroz integral é obtido através do descascamento, quando ocorre a separação da casca da cariopse. Este ainda pode ser polido para remoção do farelo (pericarpo, tegumento, camada de aleurona e germe), que representa 8,5 - 14,8% do arroz integral (JULIANO; BECHTEL, 1985). O arroz é constituído principalmente por amido, apresentando quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas.

Entretanto, variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento podem interferir na composição do grão e de suas frações (ZHOU et al., 2002), produzindo grãos com características nutricionais diferenciadas.

Além disso, os nutrientes não estão uniformemente distribuídos nas diferentes frações do grão. As camadas externas apresentam maiores concentrações de proteínas, lipídios, fibra, minerais e vitaminas, enquanto o centro é rico em amido. Dessa forma, o polimento resulta em redução no teor de nutrientes, exceto de amido, originando as diferenças na composição entre o arroz integral e o polido (ZHOU et al., 2002) (Figura 4).

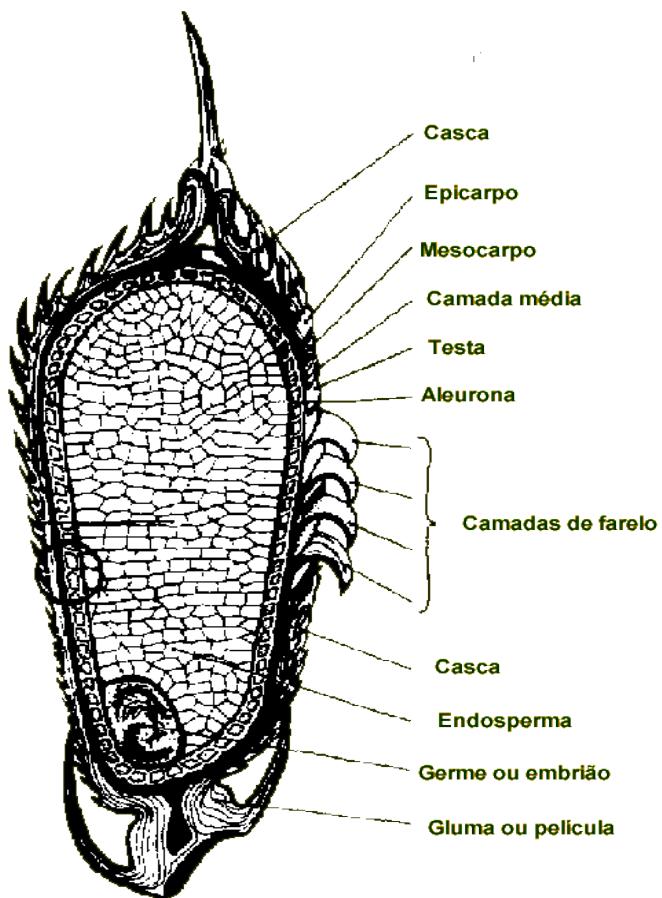


Figura 3. Representação do grão de arroz – camadas (ICTA/UFRGS, 2015).

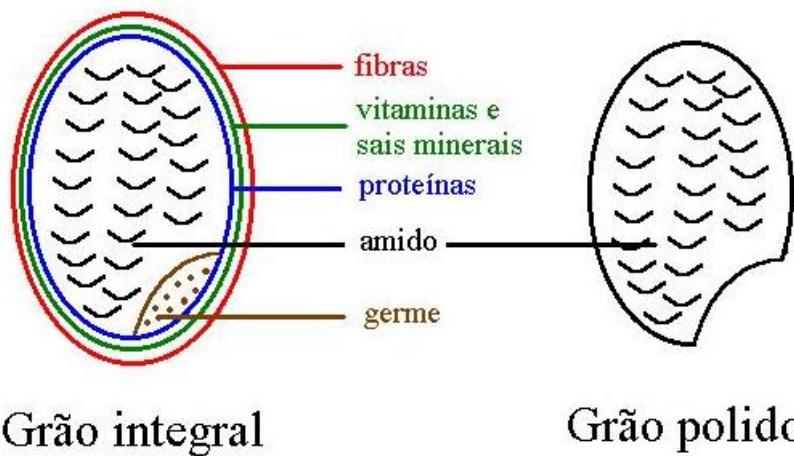


Figura 4. Representação do grão de arroz – integral e polido (ICTA/UFRGS, 2015).

Os carboidratos são os principais constituintes do arroz (Tabela 1). O amido corresponde a aproximadamente 90% da matéria seca do arroz polido, sendo possível também encontrar açúcares livres e fibra. O endosperma é composto principalmente por amido, enquanto o farelo e o germe apresentam principalmente fibra e lipídio, bem como pequenas quantidades de outros carboidratos (WALTER, 2008).

Tabela 1. Composição centesimal média (%) na matéria seca) de arroz integral, branco polido e parboilizado polido.

| Constituinte | Arroz integral | Arroz branco polido | Arroz parboilizado polido |
|----------------------|----------------|---------------------|---------------------------|
| Amido total | 74,12 | 87,58 | 85,08 |
| Proteínas (N × 5,95) | 10,46 | 8,94 | 9,44 |
| Lipídios | 2,52 | 0,36 | 0,69 |
| Cinzas | 1,15 | 0,30 | 0,67 |
| Fibra total | 11,76 | 2,87 | 4,15 |
| Fibra insolúvel | 8,93 | 1,05 | 1,63 |
| Fibra solúvel | 2,82 | 1,82 | 2,52 |

Fonte: Stork (2004).

A quantidade de amido no arroz pode variar devido a fatores genéticos e ambientais, como observado por Frei et al. (2003), que obtiveram teores de amido entre 72 e 82% em arroz integral de diferentes cultivares. A Tabela 1 mostra a variação na quantidade de amido no arroz onde em maior quantidade, se destaca o branco polido com 87,58% e no parbolizado polido, 85,08% comparado ao integral 74,12%, devido à remoção do farelo.

Quanto aos lipídios, estão organizados em corpos lipídicos (esferossomos) na camada de aleurona, no embrião e no endosperma, ou associados a grânulos de amido (WALTER, 2008). No entanto, a maior concentração ocorre no germe (1/3 do conteúdo total) e na camada de aleurona.

Dessa forma, a concentração de lipídios é maior no arroz integral, reduzindo com o polimento, geralmente com concentrações inferiores a 1% no arroz polido (Tabela 1).

Segundo Walter (2008), a quantidade de proteínas no arroz, em média, é considerada baixa, em torno de 7%, sendo afetada por características genéticas, adubação nitrogenada, radiação solar e temperatura durante o desenvolvimento do grão.

A classificação das proteínas (albumina, globulina, prolamina e glutelina), é feita através de dois tipos de corpos proteicos no endosperma. Os corpos proteicos I são grandes estruturas esféricas, com anéis concêntricos, ricos em prolamina. Os corpos proteicos II não apresentam a estrutura em anéis, e são ricos em glutelina e globulina (ZHOU et al., 2002).

No endosperma, a glutelina corresponde aproximadamente 80% das proteínas formando a principal fração do composto. Com menor concentração de albumina e globulina (15%) e prolamina (5-8%). Já o farelo apresenta aproximadamente 60% de albumina, seguido por prolamina e glutelina (27%) e globulina (7%) (JULIANO, 1993).

Da mesma maneira que são observadas variações no teor total de proteínas, também existem diferenças na composição em aminoácidos das proteínas entre o arroz integral e o polido. Além dos aminoácidos proteicos, o arroz também apresenta pequena quantidade de aminoácidos livres, localizados principalmente no germe ($594,9\text{mg 100 g}^{-1}$) e no farelo ($361,4\text{mg 100g}^{-1}$), com pequena concentração no endosperma ($52,7\text{mg 100 g}^{-1}$). Entre os aminoácidos livres, predominam o aspartato e glutamato, que correspondem a aproximadamente 60% do total (SAIKUSA et al., 1994).

Como se vê, o endosperma e o farelo difere no que tange a composição proteica.

A qualidade da proteína depende de seu conteúdo em aminoácidos. Semelhante a outros cereais, o arroz apresenta a lisina como aminoácido limitante. Entretanto, entre os cereais, o arroz apresenta uma das maiores concentrações de lisina, resultando em balanço de aminoácidos mais completo (JULIANO, 1993).

Tabela 2. Concentração de minerais em arroz integral e branco polido.

| Mineral | Arroz integral | Arroz branco polido |
|--|----------------|---------------------|
| <i>Macrominerais (mg g⁻¹, com 14% de umidade)</i> | | |
| Cálcio | 0,1-0,5 | 0,1-0,3 |
| Magnésio | 0,2-1,5 | 0,2-0,5 |
| Fósforo | 1,7-4,3 | 0,8-1,5 |
| Potássio | 0,6-2,8 | 0,7-1,3 |
| Silício | 0,6-1,4 | 0,1-0,4 |
| Enxofre | 0,3-1,9 | 0,8 |
| <i>Microminerais (μg g⁻¹, com 14% de umidade)</i> | | |
| Alumínio | 0,3-26,0 | 0,1-2,2 |
| Cádmio | 0,02-0,16 | 0,02 |
| Cloro | 210-560 | 200-300 |
| Cobalto | 0,03-0,04 | 0,01 |
| Cobre | 1,0-6,0 | 2,0-3,0 |
| Iodo | 0,03 | 0,02 |
| Ferro | 2,0-52,0 | 2,0-28,0 |
| Manganês | 2,0-36,0 | 6,0-17,0 |
| Níquel | 0,2-0,5 | 0,14 |
| Selênio | 0,3 | 0,3 |
| Sódio | 17,0-340,0 | 5,0-86,0 |
| Zinco | 6,0-28,0 | 6,0-23,0 |

Fonte: Juliano (1985).

É observado que, a concentração de minerais varia nas frações do grão. Enquanto no arroz com casca, o silício é componente dominante, no arroz integral e polido, destacam-se fósforo, potássio e magnésio. Ferro e zinco, dois minerais essenciais para a saúde humana, estão disponíveis em baixas concentrações no grão (WALTER, 2008).

O conteúdo mineral é também influenciado pelas condições de cultivo, incluindo fertilização e condições do solo, e pelo processamento. Em geral, os minerais apresentam-se em maior concentração nas camadas externas do grão (Tabela 2), com aproximadamente 72% no farelo e 28% no grão polido (JULIANO, 1985).

Entretanto, alguns minerais apresentam distribuição mais uniforme, como sódio e cálcio, permanecendo no arroz branco polido 63% do sódio e 74% do cálcio do arroz integral (ITANI et al., 2002).

Os compostos fenólicos, ou polifenóis, são metabólitos secundários dos vegetais e exercem diferentes funções nas plantas. Eles podem ser classificados em diferentes grupos, sendo os ácidos fenólicos, os flavonóides e os taninos, os principais na dieta (WALTER, 2008). No arroz, os compostos fenólicos já identificados são os ácidos fenólicos, principalmente, os ácidos ferúlico e *p*- cumárico (TIAN et al., 2004; ZHOU et al., 2004).

Além de suas conhecidas funções nos vegetais, pesquisas têm destacado o efeito bené-

fíco para a saúde humana que os compostos fenólicos do arroz trazem. Tais efeitos, decorrem de sua ação antioxidante, auxiliando na prevenção de danos celulares e de doenças crônicas, incluindo doenças cardiovasculares, envelhecimento, diabetes e câncer (XIA et al., 2003; HYUN; CHUNG, 2004). Os grãos integrais e aqueles com pericarpo vermelho e preto apresentam maior atividade antioxidante devido à maior concentração de polifenóis (NAM et al., 2005).

O arroz também traz em sua composição, um elemento de significativo valor nutricional, o gama orizanol. Tal elemento é considerado em vários estudos como um excelente antioxidante, devido sua composição estar associado a uma mistura complexa de mais de 23 ésteres do ácido ferúlico e cafeico com álcoois triterpenos e esteróis. Como visto, o arroz é considerado um dos alimentos de maior consumo no Brasil e no mundo e, na forma integral, este contém 8 a 10% de farelo, onde ficam retidos os micronutrientes e os compostos bioativos do arroz, entre eles, o gama orizanol. Devido a fatores culturais, o hábito de consumo deste cereal se restringe à forma de arroz branco polido, por sua aparência, menor pegajosidade, rapidez e praticidade no tempo de preparo, reduzindo o aproveitamento do gama orizanol (ISMAIL et al., 2010).

Estudos sobre as propriedades do gama orizanol (principal orizanol estudado) destacam seu mecanismo de ação relacionado à prevenção e controle de doenças cardiovasculares: diminuição da síntese de colesterol, diminuição da absorção intestinal do colesterol dos alimentos, diminuição do processo de oxidação de colesterol corporal, aumento da eliminação de ácidos biliares no intestino. Destaca-se ainda, a atuação do gama orizanol como fator antitumoral, anti-inflamatório e inibidor de agregação plaquetária. Convém salientar ainda, que o cozimento do arroz integral consegue manter cerca de 90% dos orizanóis dos grãos; os compostos fenólicos são reduzidos, mas isso não compromete sua importância como bioativo no alimento (SUN et al., 2010).

O arroz também contém, principalmente, vitaminas do complexo B e α -tocoferol (vitamina E), e concentrações insignificantes das vitaminas A, D e C. A concentração de vitamina é maior nas camadas externas do grão, sendo que, no farelo são encontrados tiamina, riboflavina, niacina e α -tocoferol, aproximadamente 78, 47, 67 e 95%, respectivamente (WALTER, 2008). Dessa forma, o polimento reduz significativamente a concentração de vitaminas (Tabela 3).

Tabela 3. Conteúdo de vitaminas ($\mu\text{g g}^{-1}$ com 14% de umidade) em arroz integral e branco polido.

| Vitamina | Arroz integral | Arroz branco polido |
|-------------------------------------|----------------|---------------------|
| Retinol (A) | 0-0,11 | 0-tr ^a |
| Tiamina (B ₁) | 2,9-6,1 | 0,2-1,1 |
| Riboflavina (B ₂) | 0,4-1,4 | 0,1-0,6 |
| Niacina (B ₃) | 35-53 | 13,0-24,0 |
| Ácido pantotênico (B ₅) | 9,0-15 | 3,0-7,0 |
| Piridoxina (B ₆) | 5,9 | 0,4-1,2 |
| Biotina (B ₇) | 0,04-0,10 | 0,01-0,06 |
| Ácido fólico (B ₉) | 0,1-0,5 | 0,03-0,14 |
| Cianocobalamina (B ₁₂) | 0-0,004 | 0-0,0014 |
| Ácido p-aminobenzóico | 0,3 | 0,12-0,14 |
| α -tocoferol (E) | 9,25 | tr ^a -3 |

^atraços.

Fonte: Juliano, Bechtel (1985).

2.3 Milho

O milho é produzido amplamente e em vários continentes, sendo sua importância econômica caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vão desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia, como a produção de filmes e embalagens biodegradáveis. Aproximadamente 70% da produção mundial de milho é destinada à alimentação animal, podendo este percentual chegar a 85%, em países desenvolvidos. Em termos gerais, apenas 15% de toda a produção mundial destina-se ao consumo humano, de forma direta ou indireta (BRASIL, 2013).

A produção nacional do milho é relativamente dispersa no país. Os principais estados produtores, Paraná, Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul responderam em 2013, por 80,7% da produção nacional. As maiores regiões produtoras são o Sul, com 34,1% da produção nacional e o Centro Oeste com 42,0% (BRASIL, 2013).

No Sul a liderança é do Paraná, e no Centro Oeste, Mato Grosso. No entanto, Minas Gerais, Goiás e Rio Grande do Sul também respondem por importante parte da produção nacional (BRASIL, 2013).

A produção de milho no Brasil foi de aproximadamente 78,5 milhões de toneladas em 2013. Para 2022/23 a produção projetada é de 93,6 milhões de toneladas.

As exportações de milho, que foram de 18 milhões de toneladas em 2013, devem atingir 24,74 milhões de toneladas em 2022/23. Para manter o consumo interno projetado de 62,6 milhões de toneladas e garantir um volume razoável de estoques finais e o nível de exportações projetado, a produção projetada em 93 milhões de toneladas atende a demanda em 2023 (BRASIL, 2013).

2.3.1 Estrutura e composição do grão de milho

Segundo Paes (2006) os grãos do milho são, em geral, amarelos ou brancos, podendo apresentar colorações variando desde o preto até o vermelho. O peso individual do grão varia, em média, de 250 a 300 mg e sua composição média em base seca é 72% de amido, 9,5% proteínas, 9% fibra (a maioria resíduo detergente neutro) e 4% de óleo.

Em outro estudo, Callegaro et al., (2005) encontrou o valor médio de $12,15\% \pm 0,64$ para fibra alimentar total (%) em milho de pipoca. O milho é conhecido botanicamente como uma cariopse; o grão de milho é formado por quatro principais estruturas físicas: endosperma, germe, pericarpo (casca) e ponta (Figura 5), as quais diferem em composição química e também na organização dentro do grão.

O germe representa 11% do grão de milho e concentra quase a totalidade (83%) dos lipídios (óleo e vitamina E) e dos minerais (78%) do grão, além de conter quantidades importantes de proteínas (26%) e açúcares (70%). O pericarpo representa, em média, 5% do grão, sendo a estrutura que protege as outras estruturas do grão da elevada umidade do ambiente, insetos e microrganismos (Tabela 4). A ponta é a menor estrutura, corresponde a 2% do grão, sendo responsável pela conexão do grão ao sabugo; e é a única área do grão não coberta pelo pericarpo. Sua composição é essencialmente de material lignocelulósico (DENARDIN; SILVA, 2009).

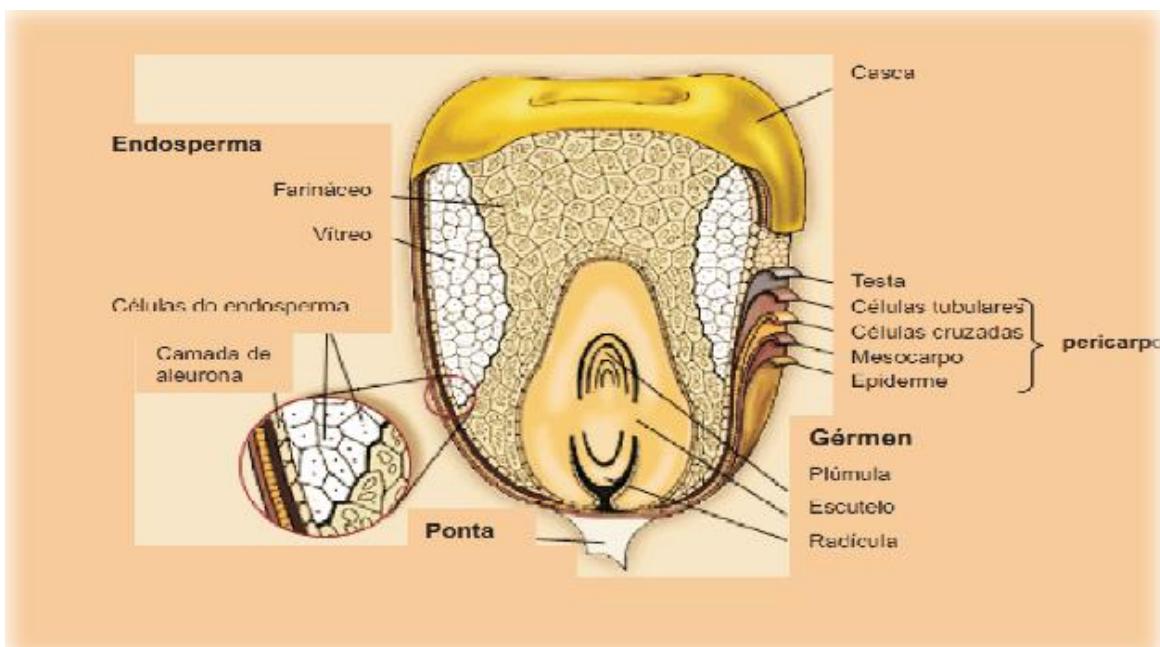


Figura 5. Anatomia do grão de milho e suas partes (PAES, 2006).

As proteínas de reserva, encontradas em maior abundância no grão de milho, são ricas nos aminoácidos metionina e cisteína, mas são pobres em lisina e triptofano, essenciais à nutrição humana e de alguns monogástricos. Por esse motivo, a qualidade da proteína, em milhos normais, é baixa, correspondente a 65% daquela presente no leite, considerada um padrão para a nutrição humana. As proteínas de reserva possuem quantidades elevadas dos aminoácidos glutamina, leucina, alanina e prolina, que conferem alta hidrofobicidade ao resíduo proteico extraído do endosperma no processo de produção do amido de milho (PAES, 2006).

Tabela 4. Percentagem do constituinte total indicado nas estruturas físicas específicas do grão de milho.

| Fração | % grão | Amido | Lipídio | Proteína | Minerais | Açúcares | Fibras ou conteúdo celular |
|------------------------|--------|-------|---------|----------|----------|----------|----------------------------|
| % da parte (base seca) | | | | | | | |
| Endosperma | 82 | 98 | 15,4 | 74 | 17,9 | 28,9 | |
| Germe | 11 | 1,3 | 82,6 | 26 | 78,4 | 69,3 | 12 |
| Pericarpo | 5 | 0,6 | 1,3 | 2,4 | 2,9 | 1,2 | 54 |
| Ponta | 2 | 0,1 | 0,8 | 0,9 | 1 | 0,8 | 7 |

Fonte: Paes (2006).

2.4 Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma gramínea que pertence à família Poaceae; as sementes são usadas para fazer farinha e também como forragem (EMBRAPA, 2011).

A planta do sorgo tem uma altura de 1 a 2 metros; com inflorescências e sementes de 3 mm, esféricas e oblongas, de cores negras, avermelhadas e amarelas. Tem um sistema radicular que pode chegar, em terrenos permeáveis, a dois metros de profundidade. E suas flores têm estambres e pistilos. (EMBRAPA, 2011).

Esta planta é comum de clima quente, apresentando características xerófilas e mecanismos eficientes de tolerância à seca. Além disso, existem variedades adaptadas a diferentes zonas climáticas, inclusive as temperadas. A produtividade do sorgo está relacionada com diversos fatores integrados (interceptação de radiação pelo dossel, eficiência metabólica, eficiência de translocação de produtos da fotossíntese para os grãos, capacidade de dreno) (EMBRAPA, 2011).

Com relação a sua origem, o sorgo, é original provavelmente da África e Ásia, usado como fonte de proteínas na alimentação humana nas regiões sub-Sahara africana e sul-asiática. A área de sorgo plantada no mundo, ao analisar os últimos 50 anos, cresceu 60% e o rendimento aumentou em 244% (EMBRAPA, 2011; NATIONAL GRAIN SORGHUM PRODUCERS, 2014).

Devido a sua versatilidade e facilidade de produção, é utilizado como o alimento básico de mais de quinhentos milhões de pessoas que vivem em países em desenvolvimento, principalmente da África e da Ásia e América Central (DICKO et al., 2006; MUTISYA et al., 2009). Já o uso como forragem animal dá-se principalmente na América do Norte (MORRIS; BRYCE, 2000).

Na África, o sorgo em grão é utilizado no preparo de inúmeros produtos alimentícios como mingau, cuscuz, produtos de panificação, cervejas e farinhas pré-cozidas para uso instantâneo (DICKO et al., 2006; MENDEZ ALBORES et al., 2009).

Nos Estados Unidos, os produtos de sorgo branco são usados como substituto do trigo em produtos destinados para pessoas alérgicas ao glúten (DICKO et al., 2006).

Por esta razão, esse cereal vem despontando como alternativa alimentar para celíacos, portadores de doença autoimune desencadeada pela ingestão, por indivíduos geneticamente predispostos, de cereais que contêm glúten (SDEPANIAN et al., 1999). Um desafio para esses indivíduos é a pouca opção de alimentos sem glúten no mercado, considerando que o trigo é o cereal mais utilizado como fonte de matéria-prima na panificação. Por isso, o sorgo, sendo isento de glúten, é considerando seguro e uma boa alternativa para estas pessoas, constituindo cereal promissor para o desenvolvimento de uma ampla variedade de produtos de alta qualidade. Estudos no exterior têm sido conduzidos com a finalidade de desenvolver produtos com sorgo destinados a esse público-alvo (HAMAKER, 2007), porém, no Brasil, ainda, não se tem muitos trabalhos a este respeito.

A produção mundial de sorgo é cerca de 55,7 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2013) e ocupa o quinto lugar, depois do milho, arroz, trigo e cevada (DLAMINI et al., 2007), sendo os produtores primários Nigéria, Índia e Estados Unidos e os consumidores principais Nigéria, México e Índia. Estados Unidos é o maior exportador, México e Japão são os maiores importadores (EMBRAPA, 2011).

Em 2011, a produção de sorgo no Brasil atingiu 1,93 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2013). O sorgo foi o quarto cereal mais produzido no Brasil na safra 2010/2011, após apenas do milho, do arroz e do trigo (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2011).

Para a produção mundial o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) projeta grande crescimento da produção, que sairá de 52 milhões de toneladas para 61 milhões de toneladas, ou seja, quase que a mesma magnitude do crescimento do consumo total (cerca de 19%). Apesar disso, os estoques devem crescer (CONAB, 2014).

Os Estados Unidos devem ter produção recorde de sorgo esse ano, superando a quantidade produzida na safra 2009/10 e chegando aos 10 milhões de toneladas, como visto na Figura 6 (CONAB, 2014).

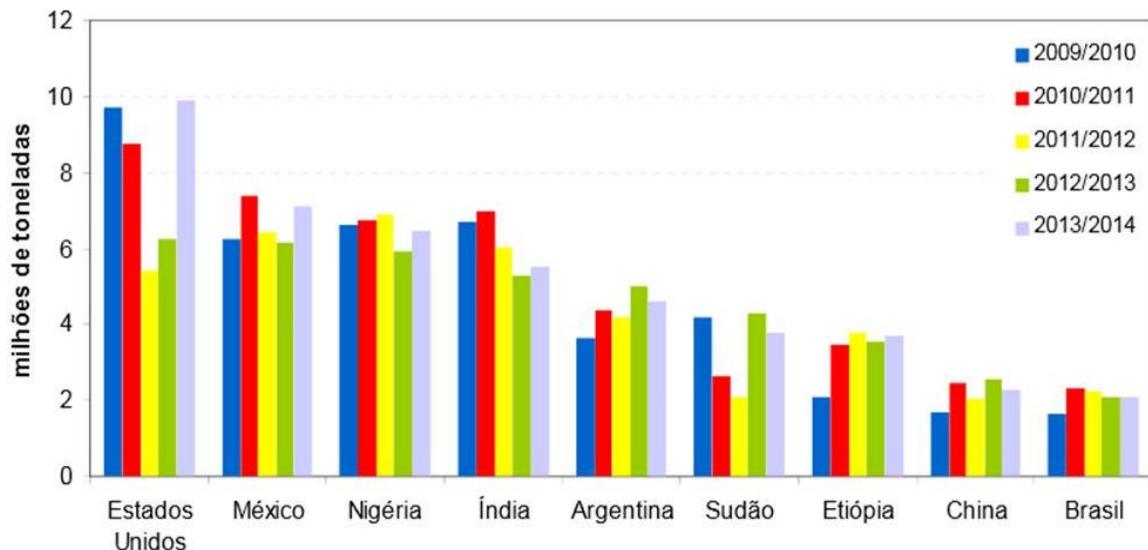


Figura 6. Produção de sorgo nos maiores produtores mundiais, entre 2010 e 2013 (CONAB, 2014).

A produção norte-americana é seguida pela mexicana, que produziu pouco mais de 6 milhões de toneladas em 2013 e quase igualando à produção dos EUA. Entretanto, em 2014, apresentou um crescimento não tão grande quanto o dos EUA. O terceiro maior produtor mundial do grão é a Nigéria, que sofreu com problema o que dificultou a produção. A Índia que já foi a maior produtora mundial de sorgo viu mais uma vez sua produção cair, ficando em cerca de 5,5 milhões toneladas. Após estes, seguem a Argentina, Sudão, Etiópia, China e Brasil, ocupando a nona posição como produtor mundial de sorgo (Tabela 5) (CONAB, 2014).

Tabela 5. Oferta e consumo mundiais de sorgo, em milhões de toneladas.

| Ano ¹ | Oferta | | | | Consumo | | | | | Estoques Finais |
|------------------|-------------------|----------|--------------------------|---------------------------|--|-------|----------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|
| | Estoques Iniciais | Produção | Importações ² | Oferta total ³ | Alimentos ⁵ , álcool e uso industrial | Ração | Consumo ⁴ | Exportações ² | Consumo total ³ | |
| 2005/06 | 4 | 50 | 5 | 59 | 34 | 21 | 54 | 0 | 55 | 4 |
| 2006/07 | 4 | 50 | 5 | 59 | 34 | 19 | 54 | 2 | 56 | 4 |
| 2007/08 | 4 | 53 | 10 | 67 | 35 | 24 | 59 | 3 | 62 | 5 |
| 2008/09 | 5 | 53 | 6 | 64 | 35 | 21 | 56 | 2 | 58 | 5 |
| 2009/10 | 5 | 45 | 6 | 56 | 29 | 22 | 51 | 2 | 53 | 3 |
| 2010/11 | 3 | 54 | 7 | 64 | 32 | 24 | 56 | 3 | 58 | 5 |
| 2011/12 | 5 | 48 | 5 | 58 | 30 | 21 | 52 | 5 | 57 | 3 |
| 2012/13 | 3 | 52 | 7 | 62 | 32 | 23 | 54 | 4 | 58 | 3 |
| 2013/14 | 4 | 62 | 7 | 73 | 34 | 27 | 61 | 8 | 69 | 4 |

¹ Agregado baseado nos períodos dos mercados locais. Os dados mais recentes podem ser preliminares ou projetados; ² Excluir o comércio intra-europeu; ³ A soma dos totais podem não ser exata em razão de arredondamento; ⁵ Inclui aveia, centeio, milheto e outros grãos. Fonte: (CONAB, 2014).

O sorgo é mais facilmente produzido e tem a vantagem de produção, pois, é bastante eficiente no uso da água e de nutrientes do solo (NASCIMENTO et al., 2012) e tem menor custo de produção do que o milho, além de ser também comercializado por um valor mais baixo no mercado (TSUNECHIRO, 2011).

Outra vantagem do uso do sorgo, na confecção de produtos alimentícios, é a possibilidade de utilização de grãos integrais. Como já anteriormente comentado, recomenda-se atualmente o aumento do consumo de produtos derivados de grãos integrais, em razão de seu papel na qualidade de vida como na redução do risco de doenças crônicas degenerativas.

Mesmo este grão tendo significativa produção, e valor nutricional, o seu uso não se dá frequentemente como alimento de consumo humano, mas sim usado para alimentação animal. No Brasil, acredita-se que o sorgo não é consumido amplamente, devido a razões sensoriais (MENEZES et al., 2009; PEREIRA et al., 2009; VÁZQUEZ – ARAÚJO, 2012).

No entanto, o interesse em tornar comum o uso desse cereal na alimentação humana tem crescido em diversos países, devido ao fato de ser um alimento rico, do ponto de vista nutricional, no qual é possível ver a presença de amido resistente, altos teores de fibra dietética e diversos compostos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonóides e taninos condensados) que contribuem positivamente para a nutrição e a saúde humana (DYKES; ROONEY, 2006).

No Brasil, o consumo deste grão não é visto de forma expressiva, devido à preconceitos. O consumo de sorgo exige mudança de hábitos que estão arraigados nos consumidores, além disso, devido ao desconhecimento do seu valor nutritivo, os alimentos que utilizam tal matéria prima, são vistos como alimentos pobres ou de baixa qualidade. Não obstante, as qualidades nutricionais do sorgo são semelhantes às do milho (EMBRAPA, 2011), sem tomar em consideração seus compostos fenólicos.

2.4.1 Estrutura e composição do grão do sorgo

Quanto à composição química, os grãos de sorgo variam de acordo com o genótipo e, em todos eles, o amido corresponde ao principal macronutriente, com variação entre 55,6 e 75,2% do cereal. Os teores de proteínas nos grãos variam entre 7,3 e 15,6%, os de fibras entre 1,2 e 6,6%, os de lipídios entre 0,5 e 5,2%, e os de cinzas entre 1,1 e 2,5% (CARLSON et al., 2011). O grão de sorgo possui um teor proteico médio de 11% (LASZTITY, 1996) e suas proteínas são classificadas como prolaminas (kafirinas) e não-prolaminas (albuminas, globulinas e glutelinas) (MESA-STONESTREET et al., 2010).

No grão integral, as frações proteicas de albuminas (11,13%) e globulinas (6,27%) contêm níveis elevados de lisina e triptofano. As maiores frações são as prolaminas (55,35%) e glutelinas (20,11%) (ALI et al., 2009). A matriz proteica do endosperma é livre de glúten, portanto adequada como alternativa na alimentação de celíacos e pessoas com níveis variados de intolerância ao glúten (MESA-STONESTREET et al., 2010).

Já as kafirinas do sorgo são prolaminas relativamente ricas em prolina (11 mol%) ligadas com taninos condensados e ácidos tânicos, sendo kafirina a fração mais ligada (23 mol% de prolina). Estas proteínas possuem menor digestibilidade do que as kafirinas não ligadas. Uma redução ou aumento nas ligações com taninos pode alterar a funcionalidade das kafirinas. (TAYLOR et al., 2007).

Os taninos estão presentes no sorgo com testa pigmentada. A presença ou ausência de pigmento na testa é geneticamente controlada por genes dominantes, tornando a cor do pericarpo fenotipicamente marrom (EARP et al., 2004). Os taninos no sorgo são visto sendo, em maior frequência do tipo condensado e são principalmente produtos polimerizados de flavan-3-ols e/ou flavan-3,4-diois (AWIKA et al., 2004).

Referente à estrutura, os grãos integrais de sorgo são compostos do endosperma (81–84%), germe (embrião e escutelo, 8–12%) e farelo, esta última inclui o pericarpo (7–9%), a

presença/ausência de testa pigmentada, dependendo do genótipo e a camada de aleurona (Figura 7).

O pericarpo do grão de sorgo é constituído por três camadas: epicarpo, mesocarpo e endocarpo. O epicarpo consiste de duas camadas: epidermes e hipodermes. A primeira camada é composta por células retangulares de parede grossa e é revestido externamente de uma camada cuticular. A hipoderme se encontra debaixo da epiderme e consiste de 1 a 3 camadas grossas de células compactas (MOHARRARA; YOUSSEF, 1995).

O mesocarpo geralmente está composto de 5 a 6 camadas de células, sendo não incomum encontrar mesocarpos com 10 a 14 camadas de células (EARP et al., 2004b). O endocarpo consiste de células cruzadas e células tubulares, facilmente quebráveis (MOHARRAM; YOUSSEF, 1995).

O endosperma consiste de três zonas: periférico, córneo e farináceo. O endosperma periférico inicia-se desde o final da camada de aleurona e estende-se até 2 a 6 células endospéricas grossas. O endosperma córneo consiste de uma camada entrelaçada de amido e proteína. O endosperma farináceo se localiza na zona central do grão. O germe está firmemente aderido ao grão e é composto do eixo embrionário (EE) e do escutelo (E).

A camada cuticular contém depósitos superficiais de cera e a epiderme frequentemente contém material pigmentado (EARP et al., 2004b). O pericarpo é constituído especialmente por lignina e celulose (PEYRON et al., 2002b) e apenas os grãos de pericarpo grosso contêm lipídios grânulos de amido no mesocarpo (DYKES; ROONEY, 2006). A testa pigmentada está constituída por taninos condensados e a camada de aleurona contém proteínas, minerais, vitaminas solúveis em água e enzimas lipolíticas (MEERA et al., 2011).

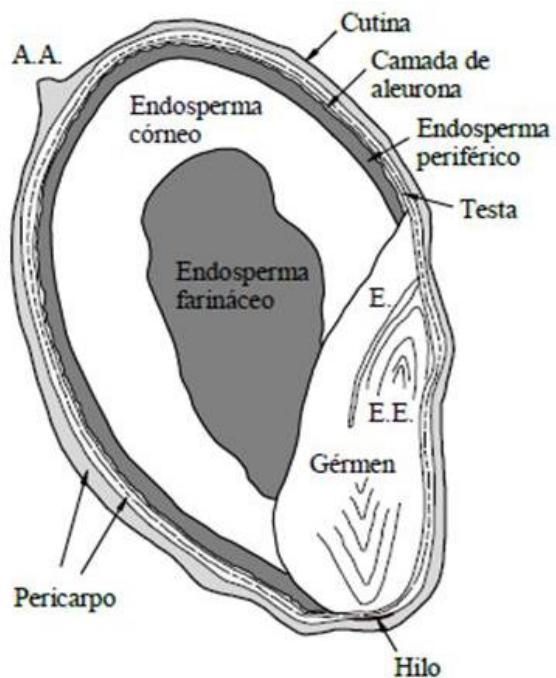


Figura 7. Esquema de um grão de sorgo (EARP et al., 2004b).

O endosperma periférico é rico em corpos proteicos, com alguns grânulos de amido pequenos embebidos na densa matriz proteinácea. O endosperma córneo consiste de grânulos de amido poligonais, fortemente rodeado por corpos proteicos e o endosperma farináceo, de grânulos de amido angulares rodeados por uma folha fina de corpos proteicos (PEYRON et al., 2002b).

As células do escutelo contêm lipídios e corpos proteicos em união com alguns grânulos de amido (MOHARRAM; YOUSSEF, 1995). O germe também possui enzimas lipolíticas (MEERA et al., 2011) e ácido fítico (DUODU et al., 2003).

Do total de amido presente no grão, 22% corresponde ao teor de amilose, podendo este percentual variar de acordo com o cultivar, na faixa de 22,0 a 27,8%. O amido de sorgo possui menos lipídios associados em comparação ao amido do trigo com 1,66%. O intervalo de temperatura de gelatinização do amido nativo de sorgo encontra-se na faixa de 68 a 75°C, com temperatura inicial superior aos cereais e tubérculos comuns (BOBBIO; BOBBIO, 1992).

Al-Rabadi et al. (2011b) destacaram o teor de amido em função do tamanho de partícula, encontrando uma leve diferença: grãos inteiros, 63,8%; partículas grossas (> 1mm): 69,7%; partículas medias (0,5 a 1 mm): 64%; partículas finas (< 0,5 mm): 63,5%.

2.5 Definição de Fibra e suas Principais Fontes na Dieta

A fibra alimentar é uma parte não digerível do alimento vegetal, a qual resiste à digestão e absorção intestinal, porém com fermentação completa ou parcial no intestino grosso. Com base em solubilidade em água, as fibras podem ser classificadas em solúveis e insolúveis. As fibras solúveis incluem as pectinas, gomas, mucilagens e polissacarídeos de armazenagem. Entre as fibras insolúveis estão, a celulose, algumas hemiceluloses e a lignina (DEVRIES, 2003; MELLO; LAAKSONEN, 2009).

Os grãos e seus derivados, como farinhas e farelos integrais, juntamente com as frutas e hortaliças são as principais fontes de fibra alimentar. Do ponto de vista químico, os constituintes da fibra alimentar podem ser divididos em componentes não-glicerídios, polissacarídeos não-amido e amido resistente (CHARALAMPOPOULOS et al., 2002).

No entanto, a sua definição é complexa e de evolução contínua. Mais recentemente, a classificação da Comissão em Nutrição e Alimentos para Usos Especiais na Dieta (CODEX) reporta que as fibras dietéticas são “polímeros de carboidratos com dez ou mais unidades monoméricas, as quais não são hidrolisadas por enzimas endógenas no intestino de seres humanos” e que pertencem às seguintes categorias:

- 1) polímeros de carboidratos comestíveis inerentes aos alimentos que são consumidos;
- 2) polímeros de carboidratos que tenham sido obtidos a partir de matéria-prima alimentar, por meio de procedimentos enzimáticos, físicos ou químicos, os quais tenham mostrado algum efeito fisiológico benéfico à saúde através de meios científicos aceitos pelas autoridades competentes, ou;
- 3) polímeros de carboidratos sintéticos que tenham mostrado algum efeito fisiológico benéfico à saúde através de meios científicos aceitos pelas autoridades competentes (CUMMINGS et al., 2009).

No Brasil, a Portaria nº27, da Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 1998), estabelece no regulamento técnico referente à informação nutricional complementar, que um alimento pode ser considerado fonte de fibra alimentar quando o produto pronto apresentar 3 g de fibra para cada 100 g da preparação, para alimentos sólidos e 1,5 g de fibra para cada 100 mL de um produto na forma líquida. Se apresentar o dobro deste conteúdo, é considerado um alimento com elevado teor de fibra alimentar. Por outro lado, a FAO/OMS recomenda o consumo de pelo menos 25 g/dia de fibras na dieta (WORLD HEALTH, 2002), no entanto, em muitos países a realidade do consumo é inferior.

2.5.1 Fibras insolúveis

As fibras insolúveis não são viscosas e agem principalmente no intestino grosso, produzindo fezes macias e acelerando o trânsito colônico (HARBER, 1997). Elas são encontra-

das no farelo de trigo, cereais integrais, raízes e hortaliças (CATALANI et al., 2003).

Elas são formadas principalmente de celulose, lignina e hemiceluloses insolúveis. Essa fração do alimento exerce um efeito físico-mecânico, aumentando o volume do bolo alimentar e das fezes, e diminuindo o tempo de trânsito intestinal. Esses componentes, ao se hidratarem, ligam não somente água, mas também elementos minerais, vitaminas, sais biliares, hormônios e lipídios, dificultando a absorção e aumentando a excreção dessas substâncias (SGARBIERI, 1996), reduzindo também, o tempo a absorção de glicose e retardando a hidrólise do amido.

A celulose apresenta cadeia não ramificada, com ligações de hidrogênio e conformação molecular cristalina envolvida pela matriz da parede celular, o que lhe confere baixa solubilidade em água. As hemiceluloses se encontram junto à celulose, à lignina e à pectina na parede celular dos vegetais e o grau de solubilidade é dado pela presença de moléculas de xilose. A lignina tem estrutura tridimensional complexa e é hidrofóbica (FOOD AND NUTRITION BOARD, 2001).

O farelo de trigo e a celulose, por exemplo, presente nos vegetais aumentam o peso fecal úmido, sendo portanto, indicados para promover melhora da função intestinal, o que pode explicar seu efeito na absorção diminuída de triacilgliceróis e colesterol (STARK; MAYERS, 1995).

2.5.2 Fibras solúveis

As fibras solúveis se destacam por sua alta capacidade de retenção de água e possuem a propriedade de formar géis em solução aquosa. Estas fibras têm a propriedade de alterar a viscosidade de produtos alimentares, por isso são amplamente utilizadas na indústria de alimentos sendo denominadas como gomas ou hidrocolóides. Elas também são vistas como substratos fermentativos que podem alterar a microflora e conduzir a uma redução ou modificação dos agentes mutagênicos (BRENNAN, 2005).

Uma vez no estômago e no intestino delgado, as fibras solúveis aumentam a viscosidade do bolo alimentar, diminuindo a atividade de certas enzimas digestivas, influenciando diretamente na taxa de digestão e absorção de nutrientes (ENDRESS; FISCHER, 2001). Esta influência está diretamente ligada à moderação da glicemia pós-prandial e resposta insulínica, redução do colesterol e regulação do apetite (ANTILLA, 2004).

As fibras solúveis correspondem às substâncias pecticas, as glucanas, gomas e mucilagens, algumas hemiceluloses e o psyllium (fração retirada da casca da semente da planta *Plantago ovata*). A aveia é uma fonte muito rica em fibras solúveis, principalmente o seu farelo. As frutas e vegetais também são fontes de fibras solúveis, porém em menor quantidade, principalmente de pectinas. Os legumes (feijões, lentilha, ervilhas) e cereais são fontes de ambos os tipos de fibras, sendo que os cereais em geral têm na sua composição um maior teor de fibras insolúveis como no caso dos grãos integrais (cevada, farinha integral), o arroz e o centeio (SUTER, 2005).

As fibras solúveis também podem ser obtidas por meio de suplementos, no caso, suplementos de fibras solúveis (psyllium, inulina, gomas). A fim de auxiliar na prevenção do aparecimento de doenças crônicas relacionadas à dieta.

2.6 Amido: Principal Componente dos Cereais

Amido é o produto amiláceo, extraído de partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes e rizomas. A RDC nº 263 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005) regulamenta os produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos.

O amido é o principal material de reserva do reino vegetal e a principal fonte de carboidratos disponível para a alimentação humana. É largamente utilizado na indústria alimentí-

cia e, em menor escala, pelas indústrias farmacêutica e têxtil (MANI; BHATTACHARYA, 1998).

Os grânulos de amido são constituídos principalmente por dois polissacarídeos, amilose e amilopectina, ambos formados por unidades constitucionais repetitivas de α -D-glicose. A amilose é uma molécula essencialmente linear, enquanto que a amilopectina é um polissacarídeo altamente ramificado. Ele consiste de α -D-glicose, cujas ligações glicosídicas são identificadas por átomos de carbono numerados de 1 a 6 (Figura 8). Essas numerações facilitam a compreensão das propriedades e reatividade dos grupos funcionais da molécula de glicose anidra no amido (BULÉON et al., 1998).

Os grânulos de amido apresentam diferentes formas e tamanhos conforme a fonte botânica, sendo compostos basicamente por duas macromoléculas, amilose e amilopectina, que se apresentam em proporções relativamente constantes de 20:80, mas podem apresentar quantidades relativas de 2% de amilose em amidos cerosos, até cerca de 80% de amilose, no “amilomilho” (BULÉON et al., 1998).

Os grânulos de amido, quando aquecidos em presença de água acima de uma determinada temperatura, formam uma suspensão viscosa. A temperatura na qual inicia tal modificação é denominada de temperatura de gelatinização do amido. A gelatinização é definida como o colapso da ordenação granular, durante a qual ocorrem mudanças irreversíveis nas propriedades, como o inchamento dos grânulos, a fusão cristalina, a perda da birrefringência, o rompimento dos grânulos com a liberação da amilose e o aumento da viscosidade da suspensão (FUKUOKA et al., 2002; THIRÉ et al., 2004).

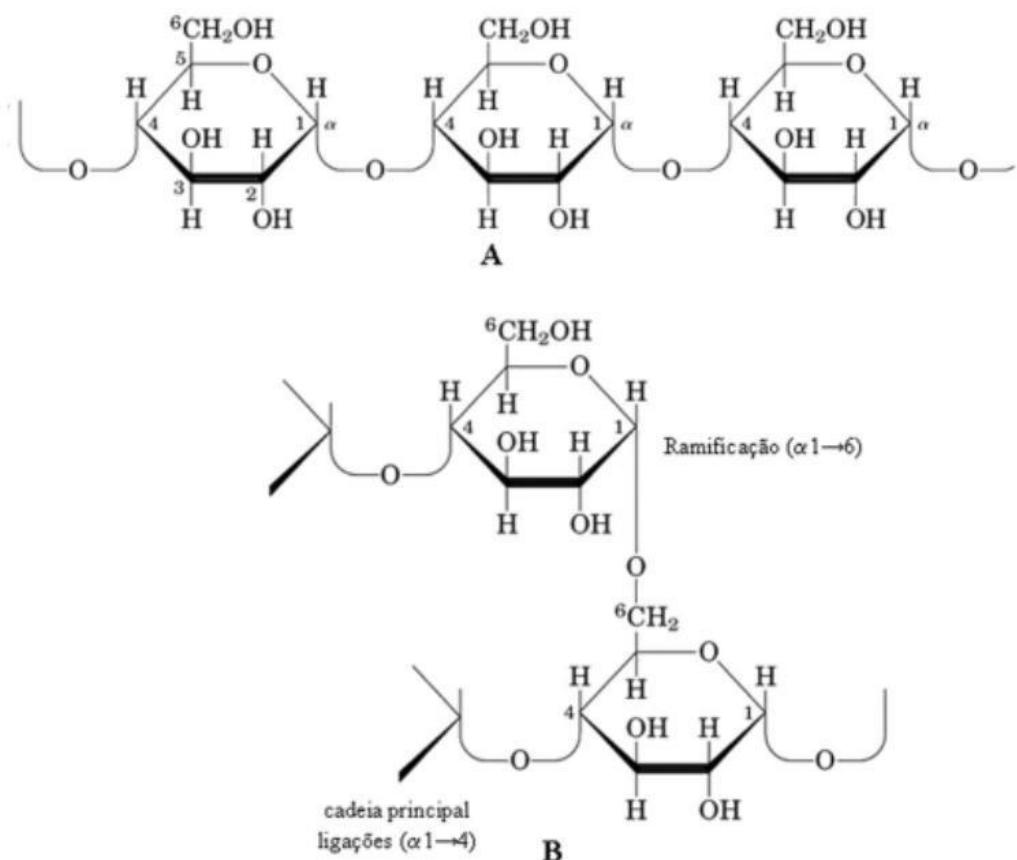


Figura 8. Representação da cadeia de amilose (A) e amilopectina (B) (BULÉON, 1998).

Ao analisar a gelatinização ocorrida durante o processo de extrusão, se observa que, tal modificação se dá acima de uma determinada temperatura, com grânulos maiores gelatinizando primeiro e os menores, depois. A temperatura inicial de gelatinização depende do método de medida e da relação amido-água, tipo de grânulo e heterogeneidade dentro do grânulo (FELLOWS, 2006; LEONEL, 2008).

As mudanças que ocorrem nos grânulos de amido durante a gelatinização e retrogradação são os principais determinantes do comportamento de pasta desses amidos, as quais têm sido medidas principalmente pelas mudanças de viscosidade durante o aquecimento e resfriamento de dispersões de amido usando equipamentos como viscoamilógrafo Brabender e mais recentemente, o analisador rápido de viscosidade (RVA) (FELLOWS, 2006; LEONEL, 2008).

No RVA, durante a fase inicial de aquecimento de uma suspensão aquosa de amido, um aumento na viscosidade é registrado quando os grânulos começam a inchar. Neste ponto polímeros com baixa massa molecular, particularmente moléculas de amilose, começam a ser lixiviadas dos grânulos. Um pico de viscosidade é obtido durante o empastamento, quando existe a maioria dos grânulos totalmente inchados, grânulos intactos e o alinhamento molecular de qualquer polímero solubilizado ainda não ocorreu dentro do campo de atrito do instrumento (WHISTLER; BEMILLER, 1997).

A curva de viscosidade expressa o comportamento do amido suspendido em excesso de água durante o aquecimento e permite caracterizar a pasta formada, devido às modificações estruturais das moléculas em processo anterior. Dessa forma, esta técnica é usada para monitorar e/ou estudar o efeito de um determinado processamento sobre o amido e/ou qualquer outro componente na mistura analisada. Os parâmetros de análise estão apresentados na Figura 9.

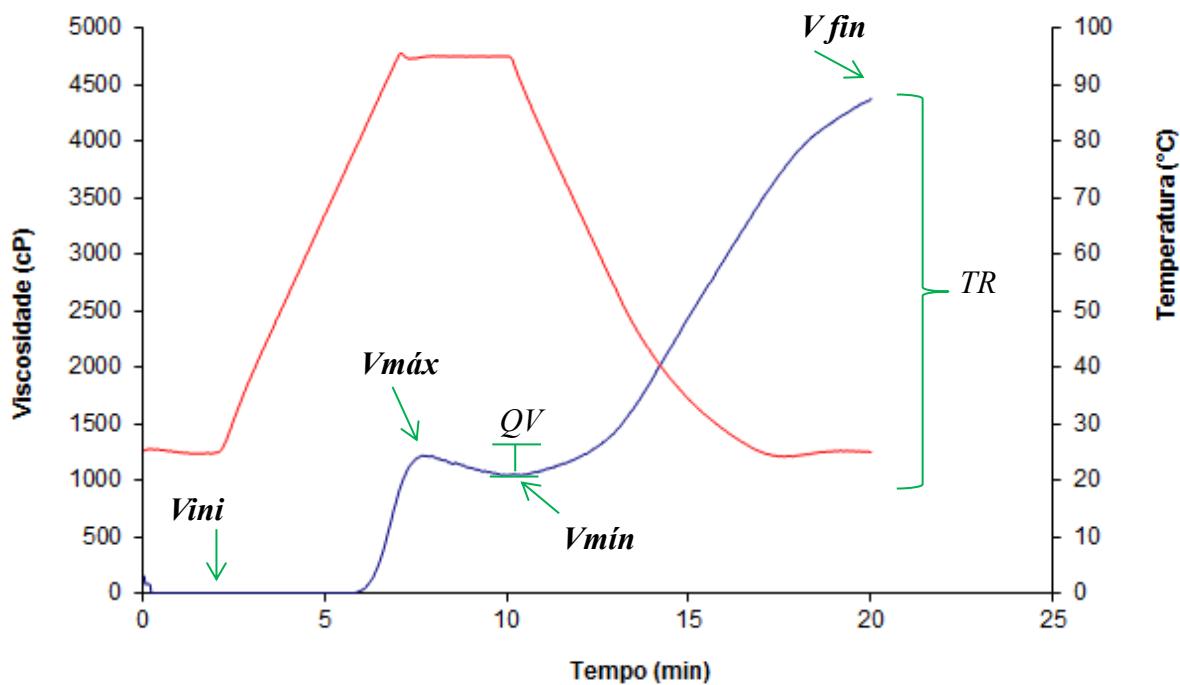


Figura 9. Curva de viscosidade de pasta de grits de milho cru (granulometria ajustada na faixa de 106 e 212 μm). V_{ini} : viscosidade inicial; $V_{máx}$: viscosidade máxima; $V_{mín}$: viscosidade mínima; V_{fin} : viscosidade final; QV : quebra da viscosidade; TR : tendência à retrogradação (Adaptado de NASCIMENTO, 2010).

Para interpretação das curvas de viscosidade de pasta foram utilizados os seguintes parâmetros:

- A) Viscosidade inicial ou viscosidade a frio (V_{ini}): é o valor da viscosidade em cP (Centipoise), na temperatura de 25°C, no início do ciclo de aquecimento;
- B) Viscosidade máxima ($V_{máx}$): é o valor da viscosidade no ponto máximo da curva, obtido durante o ciclo de aquecimento, expresso em cP;
- C) Viscosidade mínima após o ciclo de aquecimento a 95°C ($V_{mín}$);
- D) Quebra de viscosidade (QV) ou “Breakdown”: é a diferença entre a viscosidade máxima e mínima durante a manutenção a 95°C;
- E) Viscosidade final no ciclo de resfriamento (V_{fin} ou VF): é o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 25°C);
- F) Tendência à retrogradação (TR) ou “Setback”: é a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade durante a manutenção a 95°C.

É possível se obter o grau de cozimento de um material processado por extrusão, através do uso do analisador rápido de viscosidade (RVA) (AL-RABADI et al., 2011b), onde, a viscosidade pode ser monitorada ao frio, a temperaturas intermediárias até chegar a 95°C em ciclo de temperatura constante de aproximadamente 5 min. Após tal aquecimento, segue uma etapa de resfriamento. Assim, produtos avaliados sejam crus ou processados, expressam comportamentos diferenciados possibilitando interpretações variadas (SILVA, 2009).

Durante a fase de temperatura constante (95°C) os grânulos começam a se quebrar e a solubilização dos polímeros continua. Neste ponto ocorre uma redução na viscosidade. Durante a fase de resfriamento, polímeros de amilose e amilopectina solubilizados começam a se reassociar e outro aumento na viscosidade é registrado. Este segundo aumento da viscosidade é conhecido como tendência à retrogradação ou *setback*. Geralmente, para aqueles amidos que são facilmente gelatinizados, quanto maior o teor de amilose, maior o *set-back*. Dependendo do tipo de amido (fonte botânica, amido natural ou modificado), do pH da suspensão aquosa e da programação de aquecimento, vários perfis de gelatinização e empastamento podem ser gerados (WHISTLER et al., 1997).

O comportamento térmico de amidos é muito mais complexo do que a termoplastabilidade convencional causada pelas mudanças físico-químicas que ocorrem durante o aquecimento de amidos ou produtos amiláceos que envolvem gelatinização, fusão, transição vítreia, cristalização, mudanças da estrutura cristalina, expansão do volume, degradação molecular e movimentação da água. Todos esses comportamentos térmicos dependem do teor de umidade e da quantidade de água contida no amido durante o aquecimento instável (LEONEL, 2010).

2.7 Cereais sem Glúten e Doença Celíaca

Cereais sem glúten são importante opção alimentar para indivíduos celíacos. A Doença Celíaca (DC) é uma enteropatia imunomediada em indivíduos geneticamente suscetíveis, caracterizada histologicamente pela atrofia das microvilosidades intestinais (KOTZE, 2009; SILVA; FURLANETTO, 2010), que resulta em lesões de variável gravidade. A expressão da Doença Celíaca ocorre por uma série de fatores: imunológicos, genéticos, ambientais e presença de glúten na dieta.

O glúten é uma proteína presente principalmente no trigo, na cevada e no centeio, obtida por meio da lavagem das farinhas destes cereais, após a remoção dos grânulos de amido. Como fração proteica se vê duas frações em sua composição: a gliadina e a glutenina (Figura 10). A gliadina tem massa molar média de 40.000 Da e cadeia simples. Tal fração possui pouca ou nenhuma resistência à extensão e é, portanto, responsável pela coesividade da massa (TEDRUS, 2001).

A glutenina é formada por várias cadeias ligadas entre si, apresentando massa molar média que varia de 100.000 a vários milhões. Se apresenta elástica, mas não coesiva e fornece à massa a propriedade de resistência à extensão (SILVA; FURLANETTO, 2010).

A gliadina e a glutenina possuem a propriedade de formar com a água uma rede tridimensional viscoelástica, insolúvel em água, denominada glúten, frequentemente utilizada devido a sua capacidade de influenciar a qualidade de produtos como pães, macarrão e biscoitos (BOBBIO; BOBBIO, 1992).

Nos produtos que necessitam de crescimento, o glúten é uma proteína muito importante, pois forma finas membranas que retêm as bolhas de ar produzidas pelos agentes de crescimento. Em contato com o calor, o glúten coagula formando uma crosta que limita os orifícios produzidos pela expansão do gás no interior da massa e lhe confere característica crocante (ORNELLAS, 2001).

O trigo, devido as suas proteínas, tem grande capacidade de formação de massas, sendo que tal capacidade não é vista em nenhum outro cereal, afirma Tedrus (2001). O centeio e o triticale, um híbrido de centeio e trigo, são os cereais que mais se aproximam dessas características, todavia suas massas ainda são fracas que a do trigo.

Frações proteicas do glúten, tóxicas ao paciente com Doença Celíaca, dependem do tipo de cereal utilizado: gliadina no trigo, secalina no centeio, hordeína na cevada e avenina na aveia (SDEPANIAN et al., 2001).

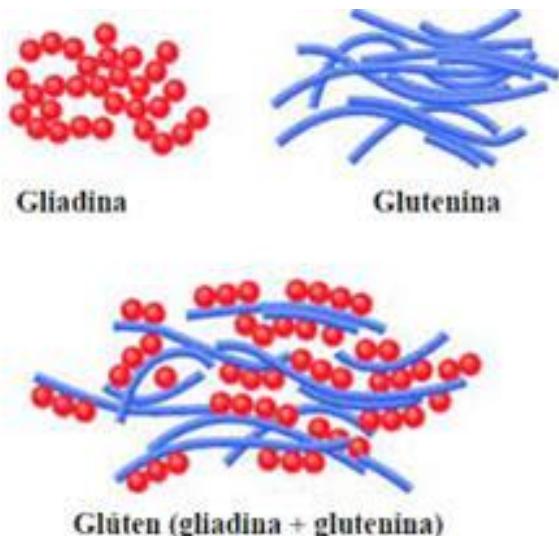


Figura 10. Estrutura do glúten: gliadina e glutenina (TEDRUS, 2001).

Para os celíacos, a dieta isenta de glúten conduz à monotonia alimentar, dado o fato de que esta substância compõe a estrutura química das massas alimentícias e dos produtos de panificação, pães, bolos e biscoitos. Além disso, a indústria alimentícia recorre ao uso da farinha de trigo, como ingrediente ou como aditivo, pelo efeito das propriedades funcionais do glúten na definição das características sensoriais dos produtos.

Também é importante considerar que os produtos industrializados destinados a celíacos são de alto custo e que, tradicionalmente, em nível doméstico, não se praticam as substituições necessárias nas preparações específicas ou por falta de tempo ou por falta de habilidade do portador ou de seus familiares para desenvolverem alimentos adequados a sua dieta. A adesão à dieta totalmente isenta de glúten não constitui prática de fácil exequibilidade, tanto pela difícil adaptação aos produtos modificados como pela dificuldade de se encontrarem produtos isentos de glúten no mercado (EGASHIRA, 1986).

Muitos portadores da Doença Celíaca consideram a dieta isenta de glúten desagradável ao paladar, o que torna ainda mais difícil sua adesão (MOWAT, 2003).

Segundo a Associação dos Celíacos do Brasil (ACELBRA, 2013), portadores de doença celíaca transgridem a dieta por vários motivos: falta de orientação sobre a doença e suas complicações; descrença na quantidade de cereais proibidos (qualquer quantidade é prejudicial e agressiva aos celíacos); dificuldades financeiras, pois os alimentos permitidos são os de custo mais elevado; hábito do uso da farinha de trigo na alimentação (pão, macarrão, etc.); falta de habilidade culinária para preparar alimentos substitutivos, forte pressão da propaganda dos produtos industrializados, que contêm glúten; rótulos, embalagens ou bulas que nem sempre contêm a correta ou clara composição dos ingredientes.

Tal transgressão à dieta imposta aos pacientes pode ser voluntária ou involuntária. A primeira pode ocorrer em todas as faixas etárias, especialmente em adolescentes (SDEPANIAN, 2001) e a segunda pode acontecer devido à incorreta inscrição dos ingredientes nos rótulos dos alimentos ou à contaminação com glúten de determinado produto industrializado ou preparado nas residências e Unidades Produtoras de Refeições (UPR). Este tipo de acidente pode ocorrer desde a colheita da matéria-prima até o momento da comercialização ou do consumo do alimento (SKERRIT, 1991).

Diante do exposto, constata-se a importância da oferta para portadores de Doença Celíaca, de alternativas alimentares sem glúten, que sejam agradáveis sensorialmente e funcionalmente, semelhantes àquelas preparações incluídas de glúten.

Richard Logan, no ano de 1991, comparou a distribuição das várias formas da Doença Celíaca a um *iceberg* devido à existência de casos que se apresentam sintomaticamente, que corresponderiam à sua porção visível, e os casos de apresentação assintomática, que corresponderiam à porção submersa do “*iceberg*” (HOLMES; CATASSI, 2013). Esta enteropatia autoimune leva à intolerância permanente ao glúten ingerido, o maior componente proteico do trigo, da aveia, da cevada e do centeio (SDEPANIAN, 1999).

Os fatores histológicos sugestivos da DC são atrofias vilositárias com hiperplasia das criptas e linfócitos intraepiteliais (GREEN, 2003), como mostra a Figura 11.

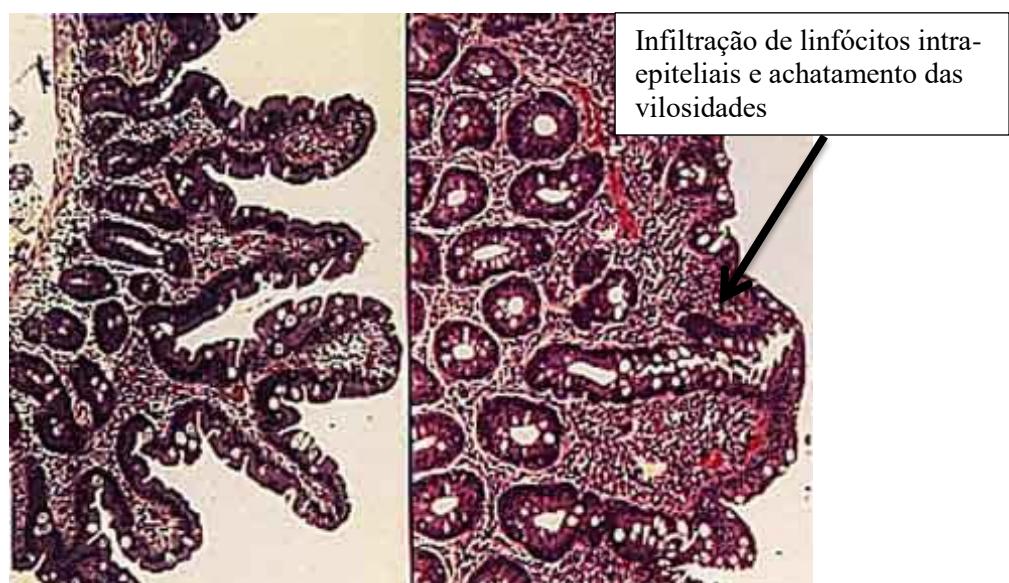


Figura 11. Vilosidade intestinal: epitélio normal (esquerda) e epitélio de portador da Doença Celíaca não tratado (direita), caracterizado por infiltração de linfócitos intra-epiteliais e achatamento das vilosidades (GREEN, 2003).

Ocorre infiltração de células T no epitélio intestinal e o tecido subjacente leva à destruição das microvilosidades do intestino, com consequente má-absorção de nutrientes

(SCHUPPAN, 2003). No intestino de indivíduos normais ou pacientes celíacos tratados, as células T não estão presentes (MOWAT, 2003; PASCHOAL et al., 2007).

Tal enteropatia se apresenta nas formas sintomática e assintomática e sua ocorrência é observada em diversos países. A prevalência mundial da doença é de aproximadamente 1 para cada 300 indivíduos (BRANDT; SILVA, 2008).

Segundo Martins et al. (2006), além das lesões intestinais e a consequente síndrome de má absorção, a Doença Celíaca apresenta outros sintomas e pode englobar outros órgãos e sistemas. A diarréia é a queixa inicial mais citada, porém, outros eventos também podem ser observados: dor abdominal recorrente, anemia ferropriva resistente ao tratamento, osteoporose, baixa estatura e dores articulares. Diabetes tipo 1, síndrome de Down, síndrome de Turner, além de síndromes neurológicas como epilepsia com calcificação occipital, ataxia cerebelar e neuropatia periférica podem ser citadas como as afecções que constituem grupo de risco para concomitante presença de Doença Celíaca.

Nos portadores da Doença Celíaca, o quadro de desnutrição é comum devido à má absorção de nutrientes e da dificuldade da ingestão alimentar, em função dos sintomas apresentados e o comprometimento da mucosa intestinal (ARAÚJO et al., 2010).

A prevalência é supostamente superior à encontrada, porque os indivíduos não sabem que são portadores da doença. A manifestação da Doença Celíaca ocorre por meio de um mecanismo em que o contato da prolamina com as células do intestino delgado provoca resposta imune a essa fração. Esta resposta imune pode conduzir a danos no intestino do portador da doença que apresente consumo de glúten. Apesar dos estudos desenvolvidos até o presente momento, tal doença ainda é pouco conhecida e seus sintomas podem ser confundidos com outros distúrbios. Geralmente se manifesta na infância, entretanto, pode surgir em qualquer idade, inclusive na fase adulta (ACELBRA, 2013).

Atualmente, esta patologia tem sido vista como um problema de saúde pública devido à sua prevalência crescente e a associações com morbidades e complicações, como a osteoporose e doenças malignas do trato gastrointestinal (ARAÚJO et al., 2010).

Segundo Sdepanian, Morais e Fagundes-Neto (2001, b), a obediência à dieta totalmente isenta de trigo, centeio, cevada, malte e aveia não é uma prática fácil de ser cumprida, e normalmente traz inúmeras dificuldades no dia-a-dia.

Uma pesquisa feita pela Associação dos Celíacos do Brasil (ACELBRA), questionando quais produtos sem glúten seus associados gostariam de encontrar com maior facilidade, obteve os resultados: pão com 47%, macarrão com 21%, bolachas e biscoitos com 21% e pizza com 11% dos votos (ACELBRA, 2013). Estes resultados nos mostram, atualmente, uma dificuldade em encontrar alimentos isentos de glúten e mostra que o biscoito pode ser uma alternativa de boa aceitação.

2.8 Processamento de Cereais por Extrusão

A extrusão termoplástica de alimentos é definida como um processo termomecânico pelo qual materiais amiláceos e/ou proteináceos são plasticizados com água pela ação de uma ou duas roscas sem fim, que os empurram por um orifício, em um sistema fechado, combinando a ação mecânica, calor e pressão (BERK, 2009). Literalmente, "extrusão" (da palavra latina *extrudere*) significa a ação de empurrar para fora. Já na área de engenharia, descreve uma operação de forçar um material para fora por uma abertura estreita (BERK, 2009).

A extrusão pode ainda ser entendida como um processo de cozimento contínuo em uma etapa que combine as forças de cisalhamento, de alta pressão e alta temperatura em um curto espaço de tempo (BERK, 2009; POWERS et al., 2011; WILEY, 2013). A aplicação da tecnologia de extrusão termoplástica na área de cereais e amiláceos, em geral, está sendo identificada como uma tendência mundial inovadora de mercado sendo vista como uma tec-

nologia versátil e moderna, que converte os produtos agrícolas, usualmente em formato de grãos ou farinhas em produtos terminados e de pronto consumo, tais como de biscoitos expandidos, entre outras (BERRIOS et al., 2010; NAYAK et al., 2011; WILEY, 2013). A extrusão começou a ser utilizada com maior intensidade a pouco mais de duas décadas, devido ao fato da crescente demanda por alimentos de pronto consumo (GUHA et al., 1997).

Os produtos obtidos por extrusão mais conhecidos são: *snacks* (salgados e doces); alimentos para bebês; sopas instantâneas; farinhas para pão, proteína vegetal texturizada; substitutos de proteína animal; misturas enriquecidas de farinhas; substitutos de laticínios; aditivos para padaria; amido modificado; massas; bebidas em pó; biscoitos (salgados e doces); produtos dietéticos; cereais e vegetais pré-cozidos; alimentação animal; alimentos para ruminantes, porco, aves, peixes, etc.; alimento para animais de estimação; produtos de resíduos industriais, processados para reaproveitamento; usos industriais; indústria de papel; indústria de biofilmes; indústria têxtil; indústria metalúrgica; indústria do petróleo; adesivos; coadjuvante, inseticidas, fungicidas; processos de compostura, plásticos biodegradáveis, etc. (FERNANDES et al., 2003; WILEY, 2013).

Quanto às partes do extrusor, este é constituído basicamente por um alimentador, de um ou dois parafuso, um cilindro encamisado, matriz ou orifício de saída e mecanismo de corte. O alimentador é composto de um recipiente para receber o material a ser extrudado e de um vibrador ou parafuso localizado vertical ou horizontalmente. Tem a função de manter a alimentação constante e ininterrupta, o que é essencial para o funcionamento do extrusor, bem como para a homogeneidade e a qualidade do produto (BORBA et al., 2005).

O parafuso possui várias seções, para facilidade da operação e manuseio. Nesta parte do equipamento se desenvolve uma alta pressão que força o material em direção à matriz (Figura 12). Neste trajeto, a temperatura se eleva e o amido se rompe ao deixar o extrusor, a pressão decresce violentamente e a água se vaporiza instantaneamente, provocando uma expansão no material extrudado. A temperatura da câmara de extrusão é mantida por vapor ou por resistências elétricas (CARVALHO et al., 2002).

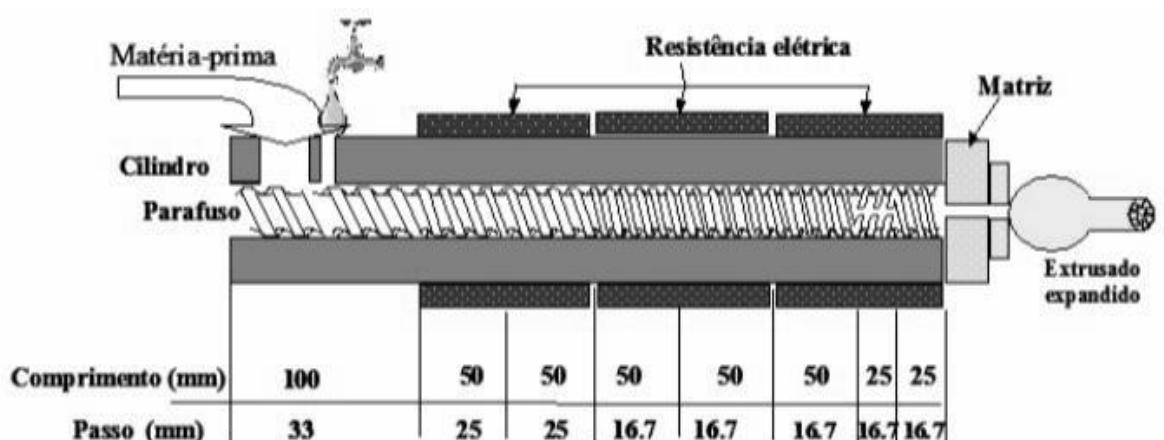


Figura 12. Diagrama esquemático de um extrusor (Carvalho, 2001).

No processo de extrusão, o material alimentar é plastificado com água de forma a fluir, sendo, portanto, continuamente cozido ao atravessar o cilindro e por fim a matriz. O cilindro pode ser dividido em várias seções. No caso do extrusor de laboratório 19/20DN do fabricante alemão Brabender (Figura 13), o cilindro é dividido em 3 seções, as quais correspondem à alimentação, transição e alta pressão (BERRIOS et al., 2013).

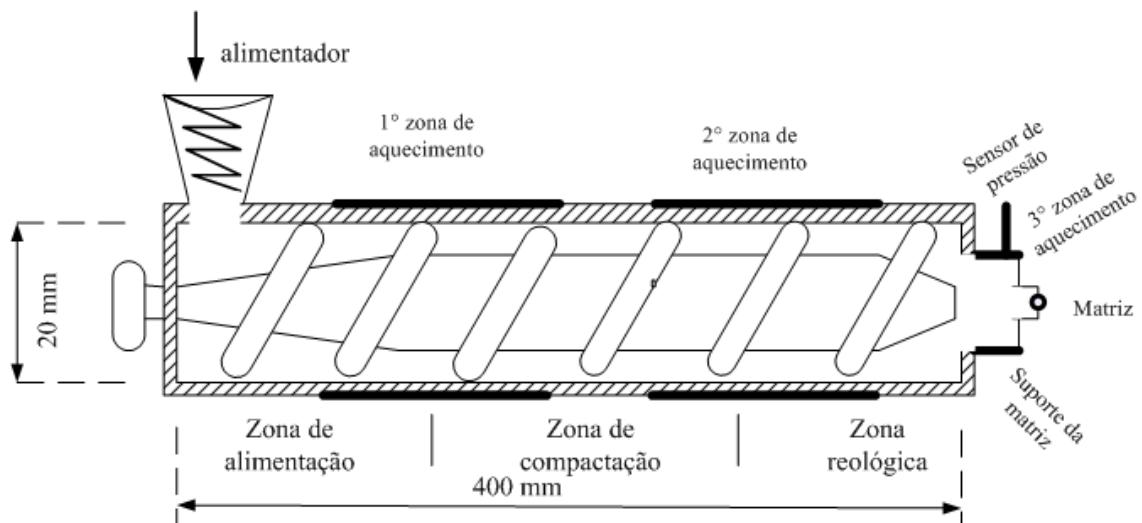


Figura 13. Ilustração esquemática de extrusor de único parafuso (Fraiha, 2008).

A extrusão traz muitas vantagens como, uma grande variedade de produtos pode ser produzida em um sistema básico de extrusão com uma capacidade de produção maior que outros sistemas de cozimento, além de ter requerimentos de trabalho e espaço por unidade de produção menor, bem como, extrusores produzem formas que não são facilmente obtidas com outros métodos de produção. A alta temperatura e o curto tempo do processo minimiza a degradação dos nutrientes ao mesmo tempo em que destrói microrganismos. A extrusão pode ainda modificar proteínas vegetais, amidos e outros materiais para produzir novos alimentos sem deixar resíduos nem materiais perigosos para o meio ambiente (MAKARAVICIUS et al., 2012).

Durante o processo de extrusão, são vários os parâmetros que se devem controlar, dentre os principais pode-se considerar os seguintes: taxa de alimentação temperaturas das seções e velocidade de rotação do parafuso (CARVALHO et al., 2002).

É importante o controle do processo de extrusão para permitir a obtenção de produtos com características variadas, como também melhorar a eficiência e economia da operação. Embora a extrusão seja um processo tecnológico simples, seu controle é complicado devido ao grande número de variáveis envolvidas no processo e sua complexidade (CARVALHO et al., 2002; WILEY, 2013).

As mudanças físicas resultantes do processamento são determinantes para a aceitabilidade do produto final, e, para “snacks” são características importantes: expansão, dureza, crocância e densidade, sendo esperada uma estrutura expandida na maioria dos “snacks” (BOMBO, 2006; CHRISTOFIDES et al., 2004).

A formação de produtos expandidos, com forma e textura desejáveis, depende de inúmeros fatores. Os mais importantes são: a gelatinização adequada do amido e o desenvolvimento de zonas de alta pressão próximas à matriz, para causar rápida evaporação da água e formação de uma estrutura celular forte (DE OLIVEIRA et al., 2004).

Para Fellows (2002), os dois principais fatores que influenciam nas características dos produtos extrudados são: as características das matérias-primas e as condições operacionais do extrusor. Como principais características para a matéria-prima são destacadas as seguintes: tipo de material, teor de umidade, estado físico, composição química (teores e tipos de amidos, proteínas, fibras, gorduras e açúcares) e pH do material. Já, como parâmetros operacionais são apontados como importantes: temperatura, pressão, diâmetro da matriz e taxa de cisa-lhamento, sendo esta última influenciada pelo desenho interno do extrusor e pelo seu comprimento; além da velocidade e geometria da (s) rosca (s).

A principal mudança físico-química que ocorre com a proteína durante a extrusão é a melhora da digestibilidade devido à desnaturação, pela aplicação de calor úmido e cisalhamento, e a inativação de inibidores de enzimas. São fatores que interferem na digestibilidade da proteína durante a extrusão: aumento da temperatura, aplicação de calor anterior ao processamento, origem da proteína, velocidade de rotação da rosca (FURLAN et al., 2003). Já a principal mudança química é a ocorrência da reação de Maillard acarretando diminuição da disponibilidade de lisina, principalmente em condições de elevada temperatura, alta rotação, baixa umidade e presença de açúcares redutores (CHEFTEL, 1986).

Os fatores ligados à matéria-prima tais como teor de umidade, proporção de amilose e amilopectina, conteúdo de proteína, lipídios e fibra e as fontes de amido utilizadas, exercem grande influência no produto acabado (ASCHERI, 2006).

2.8.1 Fatores que afetam a expansão de produtos extrudados

A extrusão está diretamente influenciada pelas variáveis independentes do processo. As variáveis independentes segundo Yacu (1990) são aquelas que controlam diretamente os atributos de qualidade, tais como: composição dos ingredientes alimentares (teor de amido, lipídeo, fibras, etc.), umidade, o tamanho de suas partículas, a velocidade de alimentação do parafuso, a configuração do parafuso e da matriz, a temperatura, a pressão e o tempo de residência.

No entanto, a incorporação de fibras prejudica as características de qualidade do produto como a expansão, volume do pão, e textura (ONWULATA et al., 2000).

Já as variáveis dependentes do processo, mudam como consequência das variáveis independentes e servem para avaliar as propriedades físicas, químicas e funcionais dos extrudados sendo estas: densidade, volume específico, umidade, expansão, atributos sensoriais como aparência, sabor, crocância, textura, grau de cozimento avaliado através da susceptibilidade enzimática, viscosidade, índices de absorção e de solubilidade em água, a difração de raio-X e calorimetria.

Entende-se que a expansão radial ou processo de *puffing*, o que acontece como resultado da saída do alimento da matriz durante a extrusão, criam-se compartimentos de ar no interior do produto resultando na redução da densidade aparente. Alguns desses compartimentos de ar são abertos e, assim o ar pode mover-se livremente de uma célula para a outra. Outros compartimentos são fechados evitando assim movimento do ar entre os poros. A expansão de extrudado é dependente primariamente do desenvolvimento desses compartimentos de ar ou bolhas os quais são criados quando vapor de água expande-se assim que o extrudado sai da matriz do extrusor (ALI et al., 1996).

Alvarez-Martinez et al. (1988) estudaram em detalhes a expansão longitudinal, radial e volumétrica de extrudados expandidos de milho. Foi postulado que o mecanismo responsável pelas expansões radial e longitudinal na extrusão foi relacionado com a capacidade do material, dentro do extrusor, em fundir-se devido a componente de energia elástica armazenada. Ou seja, da energia aplicada no sistema e também devido a componente de elasticidade inerente ao material processado.

Esta energia armazenada como uma resultante de alta pressão de deformação na saída do extrusor (matriz). As características de elasticidade do material fundido, controlada pela umidade e temperatura, regulam o aumento da expansão quando o material sai da matriz em detrimento da expansão axial, sendo assim a expansão radial é inversamente proporcional a expansão axial. Um material com grande viscosidade dentro do extrusor resistirá mais a deformação provocada pela pressão de vapor resultando em baixo volume e consequentemente alta densidade do produto extrudado formado (FLETCHER et al., 1985).

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de Execução

O processo de extrusão foi conduzido na Embrapa Agroindústria de Alimentos, planta piloto IV. As avaliações físicas das matérias primas e produtos foram realizados nos laboratórios de cereais. A composição química das matérias primas foi realizada nos laboratórios de físico-química e minerais.

3.2 Matéria-Prima

3.2.1 Arroz, milho e sorgo

Foram utilizados grãos de arroz com casca da cultivar Tropical, doados pela Embrapa Arroz e Feijão (Goiânia-GO).

As cascas dos grãos de arroz (Figura 14) foram retiradas com o auxílio de uma beneficiadora de bancada (Suzuki S/A, Santa Cruz do Rio Pardo, SP, Brasil). O arroz foi introduzido três vezes no beneficiador ajustado em 1 mm entre pedra, ficando, após a última introdução, dentro do equipamento por um período de 45 s (Figura 15).

Foto: Vanessa Toledo



Figura 14. Grãos integrais de arroz com casca.

Foto: Vanessa Toledo



Figura 15. Beneficiadora de arroz de bancada (Suzuki S/A, Santa Cruz do Rio Pardo, SP, Brasil).

Foram utilizados grãos integrais de milho (grãos de híbridos experimentais), doados pela Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG). Os grãos integrais de sorgo (BRS-310) foram doados pela Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG).

Os grãos acondicionados em sacolas plásticas, foram armazenados sob refrigeração (8°C), até o processo de moagem. Os grãos integrais de arroz, milho e sorgo estão ilustrados na Figura 16.

Foto: Vanessa Toledo



Figura 16. Grãos integrais de Arroz (A); Milho (B); e Sorgo (C).

3.3 Métodos

3.3.1 Preparo das amostras para análises

Para a determinação da composição centesimal, os grãos foram moídos usando um moinho de discos LM3600 (Perten Instruments AB; Huddinge, Suécia) com abertura nº4 entre discos, e moinho de martelos LM3100 (Perten Instruments AB, Huddinge, Suécia) equipado com uma peneira de 0,8 mm de abertura, a fim de atingir um tamanho de partícula desejável para as análises (Figura 17).

Foto: Vanessa Toledo



Figura 17. Aspecto visual das farinhas de sorgo (A) e arroz (B).

As análises realizadas na matéria prima e nos extrudados das amostras de farinhas mistas, utilizadas pelo presente trabalho podem ser observadas na Figura 18.

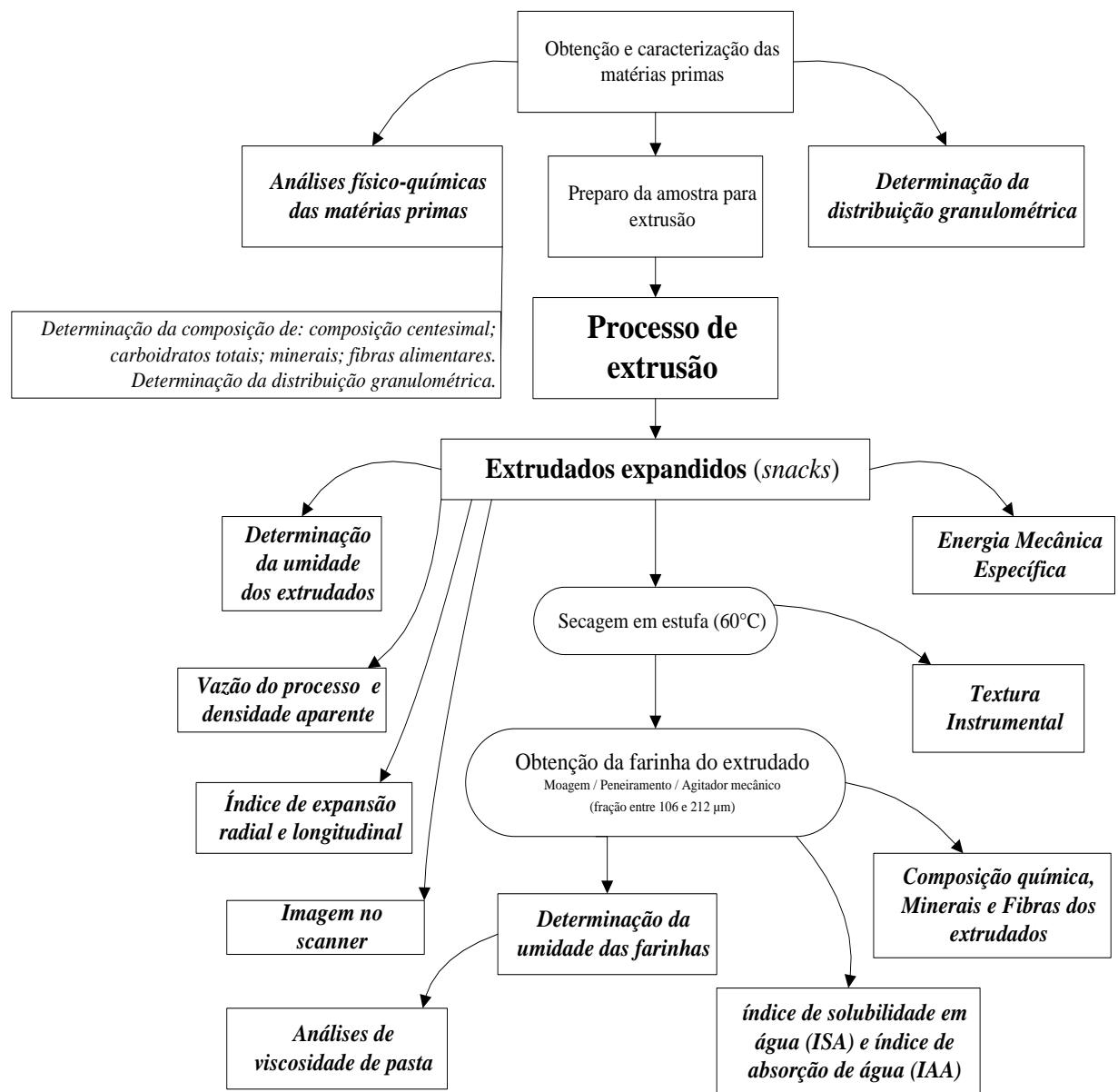


Figura 18. Fluxograma do processamento e das análises realizadas nas matérias primas e nos extrudados.

3.3.2 Análises físico-químicas das matérias primas

3.3.2.1 Determinação da composição centesimal

Foram quantificados em duplicata e de acordo com a *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2010), teor de umidade (método 925,09), nitrogênio total (método 2001,11; um fator de 5,75 foi usado para converter nitrogênio total em proteína total), teor de lipídios (método 945,38), teor de cinzas (método 923,03).

3.3.2.2 Determinação da composição de carboidratos totais

Para a determinação dos carboidratos totais foi realizada a diferença entre a massa total (100%) e a soma das porcentagens determinadas de proteína, extrato etéreo, cinzas, fibra alimentar e umidade.

3.3.2.3 Determinação da composição de minerais

A mineralização foi realizada por micro-ondas de cavidade, método 999.10, item 9.1.08 (AOAC, 2005). A quantificação foi efetuada pelo método 990.08, item 9.2.39 (ICP-OES, AOAC, 2005). Foram quantificados em duplicata, os seguintes minerais (mg/kg (mg.100 g⁻¹)): sódio (Na), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), fósforo (P), cobalto (Co), cromo (Cr), molibdênio (Mo), selênio (Se) e chumbo (Pb).

3.3.2.4 Determinação da composição de fibra alimentar

O método de determinação de fibra alimentar total seguiu a norma nº 985.29 (AOAC, 2010). A determinação de fibra alimentar total foi realizada em duplicata e com dois ensaios em branco, por método enzimático-gravimétrico, utilizando-se um banho de água tipo Dubnoff NT 232 (Novatecnica, Piracicaba, Brasil).

A amostra desengordurada passou por 3 digestões:

- 1) A primeira digestão foi feita em meio de tampão MES-TRIS ou tampão fosfato com enzima alfa amilase A3306 (Sigma-Aldrich; St. Louis, EUA) em temperatura de 95 °C por 30 min.
- 2) Em seguida, foi digerida com proteases P3910 (Sigma-Aldrich; St. Louis, EUA) em pH 7,5 a 60 °C por 30 min.
- 3) Por último, a digestão foi feita em pH 4,5 com amiloglucosidase A9913 (Sigma-Aldrich; St. Louis, EUA) por 30 min a 60 °C. Ao resíduo resultante, é adicionado álcool etílico quente e após uma hora, foi filtrado em cadrinho de Gooch.

O resíduo é pesado e, em uma das duplicatas e em um dos brancos é realizada a análise de proteína; e, em um dos resíduos de amostra e um dos brancos a análise de cinzas. Estes valores são descontados do resíduo obtido após a filtração.

3.3.3 Determinação da distribuição granulométrica

Foi realizada em triplicata, por segregação de 100 g de farinha, retido no topo de peneiras padronizadas de aço inox (Newark, EUA) após 10 min de peneiramento em um agitador de peneiras ROTAP RX-29-10 (W.S. Tyler, St. Albans, EUA).

Foram selecionadas sete aberturas de peneira (1,70; 1,40; 1,18; 1,00; 0,85; 0,71 e 0,50 mm) (Figura 19). A fração retida sobre a peneira foi pesada e os valores expressos em porcentagens.

Foto: Vanessa Toledo



Figura 19. Conjunto de peneiras antes da montagem no agitador de peneiras (não mostrado).

3.3.4 Delineamento experimental

Após testes preliminares com as matérias primas, para escolha de melhor distribuição de fração, o delineamento experimental, foi proposto.

Um delineamento de misturas simplex-centroide com três componentes foi escolhido para os experimentos, pois todos os componentes tinham o mesmo intervalo, entre 0 e 1, e não houve restrições na região em estudo (BORSATO et al., 2010).

Os componentes da mistura consistiram de farinha de milho (X1), farinha de arroz (X2) e farinha de sorgo (X3). O software Statistica versão 7.0 (StatSoft, Tulsa, EUA) foi utilizado para determinar as proporções ótimas da mistura de cereais.

As proporções dos componentes foram expressas como frações da mistura, sendo a soma igual a um ($X_1 + X_2 + X_3 = 1$). Os níveis destes três componentes e o delineamento experimental em termos dos pseudo-componentes como 10 combinações são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Composição das misturas para a produção de extrudados expandidos formulados com farinhas de multicereais integrais.

| Ensaios | Proporção das farinhas ^a | | |
|---------|-------------------------------------|--------------|--------------|
| | X1 (FM) | X2 (FA) | X3 (FS) |
| 1 | 1,00 (70%) | 0,00 (15%) | 0,00 (15%) |
| 2 | 0,00 (15%) | 1,00 (70%) | 0,00 (15%) |
| 3 | 0,00 (15%) | 0,00 (15%) | 1,00 (70%) |
| 4 | 0,50 (42,5%) | 0,50 (42,5%) | 0,00 (15%) |
| 5 | 0,50 (42,5%) | 0,00 (15%) | 0,50 (42,5%) |
| 6 | 0,00 (15%) | 0,50 (42,5%) | 0,50 (42,5%) |
| 7 | 0,33 (33,3%) | 0,33 (33,3%) | 0,33 (33,3%) |
| 8 | 0,33 (33,3%) | 0,33 (33,3%) | 0,33 (33,3%) |
| 9 | 0,33 (33,3%) | 0,33 (33,3%) | 0,33 (33,3%) |
| 10 | 0,33 (33,3%) | 0,33 (33,3%) | 0,33 (33,3%) |

^a FM = Farinha de milho, ^a FA = Farinha de arroz, ^a FS = Farinha de sorgo.

3.3.5 Analise estatística

Modelos lineares, quadráticos e cúbicos (Equações 1, 2 e 3 respectivamente) foram usados para representar os valores das respostas ajustadas (Figura 20). A significância estatística de cada equação foi determinada por análise de variância (ANOVA) a 5%.

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 \quad (1)$$

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_1b_2X_1X_2 + b_1b_3X_1X_3 + b_2b_3X_2X_3 \quad (2)$$

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_1b_2X_1X_2 + b_1b_3X_1X_3 + b_2b_3X_2X_3 + b_1b_2b_3X_1X_2X_3 \quad (3)$$

Onde Y é a variável dependente de predição, b os coeficientes da equação (Cornell, 2011); e X as proporções dos pseudo-componentes.

A partir das equações de predição obtidas por regressão, será possível elaborar gráficos tridimensionais de superfícies de resposta, bem como suas respectivas curvas de nível com o auxílio do programa Statistica versão 7.0 (StatSoft, Tulsa, 2004).

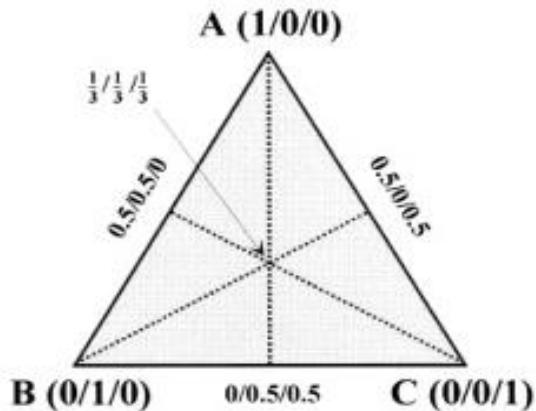


Figura 20. Visão geral das regiões do delineamento de uma mistura simples de três componentes (BORSATO, 2010).

3.3.6 Preparo da amostra para extrusão: farinha integral

Os grãos de arroz, milho e sorgo foram moídos utilizando um moinho de discos LM3600 (Perten Instruments AB; Huddinge, Suécia) com abertura de luz n.4 entre discos (Figura 21). As proporções para as diferentes frações das farinhas foram feitas conforme o delineamento experimental. As farinhas foram misturadas e as amostras foram homogeneizadas em homogeneizador (CHOPIN Technologies, Villeneuve-la-Garenne, França), por 15 min até a obtenção de uma mistura homogênea (Figura 22).

Foto: Vanessa Toledo



Figura 21. Farinhas integrais de arroz (A); milho (B); e sorgo (C).

Foto: Vanessa Toledo



Figura 22. Mistura de farinhas de Arroz; Milho e Sorgo (Ponto central, Tabela 6).

O fluxograma de preparo das farinhas mistas até o condicionamento é apresentado na Figura 23.

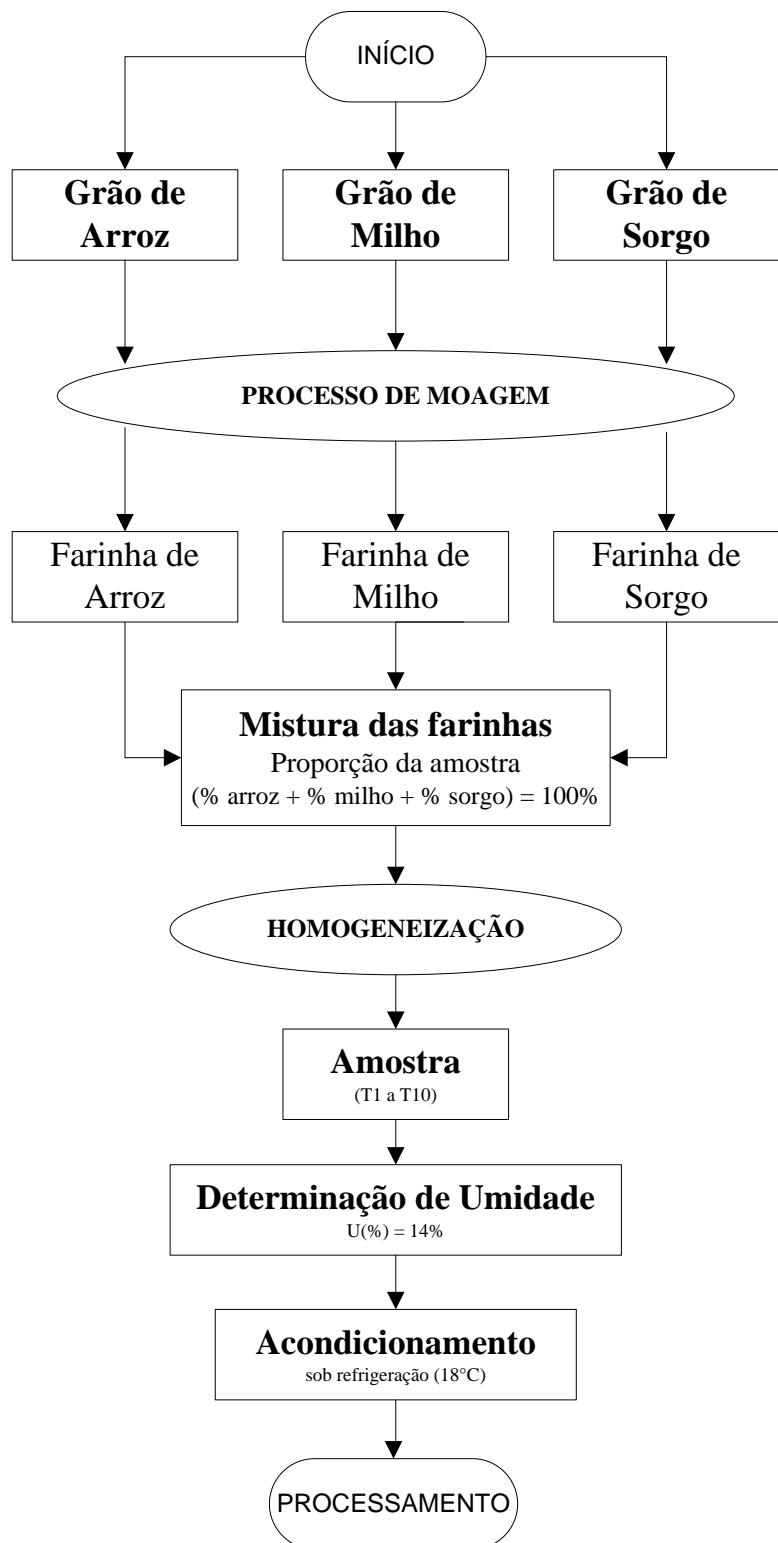


Figura 23. Fluxograma de preparo das farinhas mistas.

3.3.7 Caracterização da umidade

A umidade da farinha para extrusão foi determinada por termogravimetria, em duplo. Foram pesados $2 \pm 0,005$ g de farinha e secados a 105°C em balança de umidade MOC-120H (Shimadzu, Tóquio, Japão) até atingir uma umidade remanente na farinha, inferior a 0,05% (base úmida).

Após a determinação da umidade das misturas, foi adicionada água a fim de alcançar a umidade proposta pelo desenho experimental de 14%. A quantidade de água que se precisou adicionar foi calculada pela equação (4), de acordo com (MATHIAS, 2002; MADEIRA, 2007; SILVA, 2009).

$$A = (U_f - U_i / 100 - U_f) \times P_a \quad (4)$$

Onde:

A = quantidade de água a ser adicionada (mL)

U_f = umidade final da amostra (%)

U_i = umidade inicial da amostra (%)

P_a = peso da amostra (g)

Em seguida ao ajuste de umidade, as amostras foram novamente homogeneizadas em misturador de massa, agitando durante 15 min.

As amostras foram embaladas em sacos plásticos individuais, e armazenadas sob refrigeração (8°C) durante aproximadamente 24 h para garantir distribuição e absorção da água uniforme. O preparo das amostras de farinha integral está apresentado através da Figura 23.

3.3.8 Processo de extrusão

3.3.8.1 Condições de processo

O processo de extrusão foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa 5 amostras foram submetidas à extrusão, cada uma contendo 800 g, e na segunda etapa foram extrudadas as 5 amostras restantes, conforme delineamento.

As misturas foram processadas em extrusor monorosca de laboratório Brabender 19/20 DN (Duisburg, Alemanha) acoplada a um reômetro de torque Plasti-Corder Lab Station (Brabender, Duisburg, Alemanha), conforme Figura 24.

Vale ressaltar que o processo de extrusão somente foi iniciado após o período de estabilidade do extrusor, após a temperatura das 3 zonas terem alcançado os valores de temperatura previamente ajustados em computador equipado com o programa de controle do reômetro de torque WinExt versão (Brabender. Duisburg, Alemanha).

Com o fluxo de processamento estabilizado, o produto final foi coletado manualmente durante 5 min.

Foto: Vanessa Toledo



Figura 24. Extrusor de laboratório de parafuso único 19/20 DN (Brabender, Duisburg, Alemanha) acoplado em um reômetro de torque Plasti-Corder Lab Station (Brabender, Duisburg, Alemanha).

Após testes preliminares com as matérias primas, para escolha de melhores condições de processo, os parâmetros a seguir foram propostos.

Os parâmetros variáveis utilizados no processamento foram as diferentes frações* das farinhas integrais (arroz, milho e sorgo) nas misturas segundo delineamento experimental.

Os parâmetros constantes no processamento foram:

- Temperaturas (°C) de zonas de aquecimento (da zona de alimentação à saída): 1^a – 50; 2^a – 100; 3^a - 130;
- rotação do parafuso: 200 rpm;
- diâmetro da matriz circular: 3 mm;
- taxa de compressão do parafuso: 4:1;
- umidade das misturas: 14%;
- rotação do alimentador vertical Brabender: 15 rpm.

3.3.8.2 Obtenção dos extrudados

A coleta do extrudado foi realizada após o equilíbrio do processo ser atingido, observado pela mínima variação do torque (inferior a 10%). Os extrudados foram coletados em bandejas plásticas evitando-se deformá-los na saída da matriz.

Parte dos extrudados foi usada na determinação dos índices de expansão e imagem. Outra parte dos extrudados foi submetida à secagem em estufa com circulação de ar a 60°C por 4 h. E, acondicionada em sacos plásticos, lacrados, e etiquetados. O armazenamento desta parte foi feito em local seco a temperatura ambiente para análise de textura.

A terceira parte dos extrudados, também submetida à secagem, nas mesmas condições citadas acima e moída usando um moinho de discos LM3600 (Perten Instruments AB; Huddinge, Suécia) com abertura de luz n°6 entre discos, seguido do moinho de martelos LM3100 (Perten Instruments AB, Huddinge, Suécia) equipado com peneira de 0,8 mm de abertura. A farinha final foi então peneirada e a fração entre 106 e 212 µm foi usada na determinação da viscosidade de pasta, índice de solubilidade e absorção em água e composição química.

O processo de extrusão das amostras de farinha mista é apresentado na Figura 25.

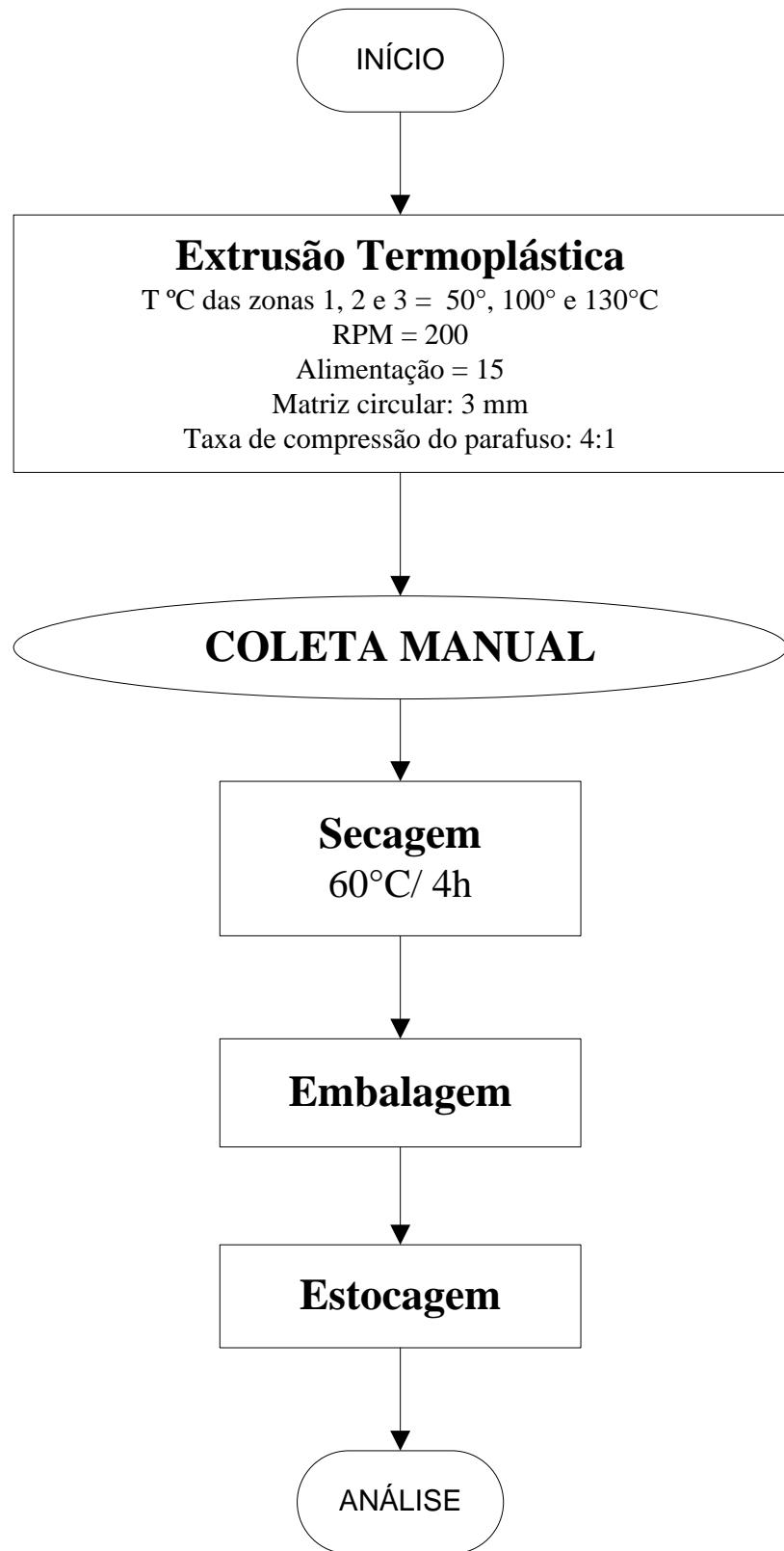


Figura 25. Fluxograma do processo de extrusão das farinhas mistas.

A Figura 26 apresenta um aspecto visual das etapas de processo desde a matéria prima (grãos integrais) até a obtenção dos extrudados, os quais foram objeto de análise.

Foto: Vanessa Toledo

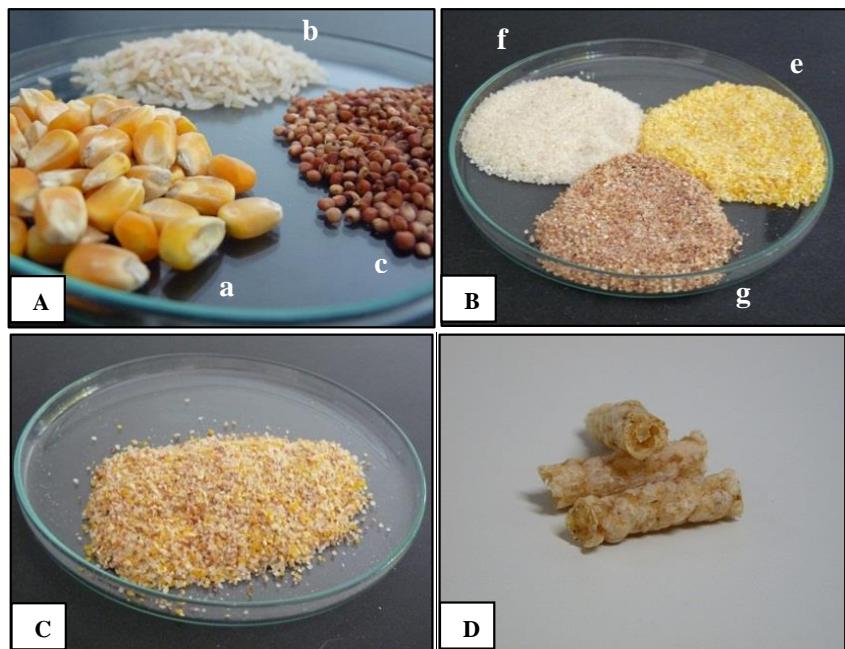


Figura 26. Aspecto visual das matérias primas, arroz, sorgo e milho integrais antes da moagem (A), após a moagem (B), após a mistura (1:1:1), (C) e após o processamento por extrusão (D).

3.3.9 Propriedades físicas dos produtos extrudados

3.3.9.1 Determinação da vazão do processo de extrusão e densidade aparente

A determinação da vazão foi realizada coletando, por 30 s em sacos plásticos previamente tarados, o material extrudado, o qual foi pesado em balança semi-analítica. O fluxo mássico ou vazão foi calculado por meio da equação (5) e expressa em kg/min.

$$P_e = m/t \quad (3600/1000) \quad (5)$$

Onde: P_e é a vazão (kg/h); m é a massa em (g); t é o tempo (s)

Para a densidade aparente, foi registrada a massa (m) de extrudados de aproximadamente 3 mm de comprimento em balança analítica e calculou-se a densidade aparente do produto extrudado (ρ_e) utilizando a equação (6):

$$\rho_e = \frac{4 \times m}{\pi \times D^2 \times L} \quad (6)$$

Onde: ρ_e é a densidade aparente; m é massa; D é o diâmetro médio e L é o cumprimento.

Cada vazão foi medida três vezes e a média obtida foi utilizada no cálculo da energia mecânica específica. Os extrudados coletados foram analisados quanto ao teor de umidade, o qual foi usado na determinação do índice de expansão longitudinal.

3.3.9.2 Determinação da energia mecânica específica (EME)

A EME pode ser definida como a energia proveniente da rotação dos parafusos transmitida ao material que se encontra dentro do extrusor, por unidade de massa (MORARU; KOKINI, 2003). Ou também, como a energia mecânica total necessária para obtenção de 1 kg de extrudado.

O torque, pressão da caixa de engrenagens (p_g), pressão na placa frontal (p_f) e temperatura da massa fundida (T_f) foram registrados pelo software FITSYS Plus (Clextral, Inc., Firminy, França), após um período mínimo de variação do torque e a pressão.

Calculou-se a energia mecânica específica (EME) pela seguinte expressão de acordo com SINGH; SMITH (1997), usando a equação (7).

$$EME \text{ (W.h.kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Torque (Nm)} \times \text{Rotações (s}^{-1}\text{)}}{\text{Vazão mássica (kg.h}^{-1}\text{)}} \quad (7)$$

3.3.9.3 Determinação do índice de expansão

Os expandidos (Figura 27) cortados com 3 cm de comprimento foram utilizados para as determinações de índice de expansão radial (IER), índice de expansão longitudinal (IEL) e o índice de expansão volumétrica (IEV), foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Alvarez-Martinez; Kondury e Harper (1988).

Foto: Vanessa Toledo



Figura 27. Imagem do extrudado expandido com (33,3% de arroz, 33,3% de milho e 33,3% de sorgo - ponto central).

Para a determinação do IER , equação (8), foi medido os diâmetros no início, meio e final de cada extrudado, para depois ter a média do diâmetro (D).

O IEL e o IEV foram calculados através das equações 9 e 10 respectivamente.

$$IER = (D/D_0)^2 \quad (8)$$

$$IEL = (p_d/p_e)(I/IER)(1-M_d/I-M_e) \quad (9)$$

$$IEV = (IEL) \times (IER) \quad (10)$$

Onde: IEL é índice de expansão longitudinal; ρ_d é a densidade do produto fundido dentro do extrusor antes da saída pela matriz, considerada como 1400 kg.m^{-3} (densidade do amido); ρ_e é a densidade do produto extrudado; IER é o índice de expansão radial; M_d é a umidade da massa em base úmida do produto fundido dentro do extrusor; M_e é a umidade em base úmida do produto extrudado; IEV é o índice de expansão volumétrica.

Foram tomadas as medidas de 20 diferentes extrudados dentro de cada tratamento, com o auxílio de um paquímetro.

3.3.9.4 Caracterização por imagens

Os extrudados cortados radialmente foram escaneados usando um scanner de escritório perfection 1240U Epson (Seiko, Nagano-ken, Japão), conforme a metodologia descrita por Nascimento et al., (2012).

3.3.9.5 Determinação de textura

Extrudados com aproximadamente 3 cm de comprimento, secos a 60°C por aproximadamente 4 h foram analisados em analisador de textura TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra) equipado com célula de carga de 30 kg, no qual foi acoplado uma sonda cilíndrica de aço inoxidável de 5 cm de diâmetro. A representação gráfica do resultado típico do texturômetro de uma amostra de extrudado expandido é apresentada na Figura 28. A avaliação da textura instrumental seguiu a metodologia descrita por Bouvier et al. (1997).

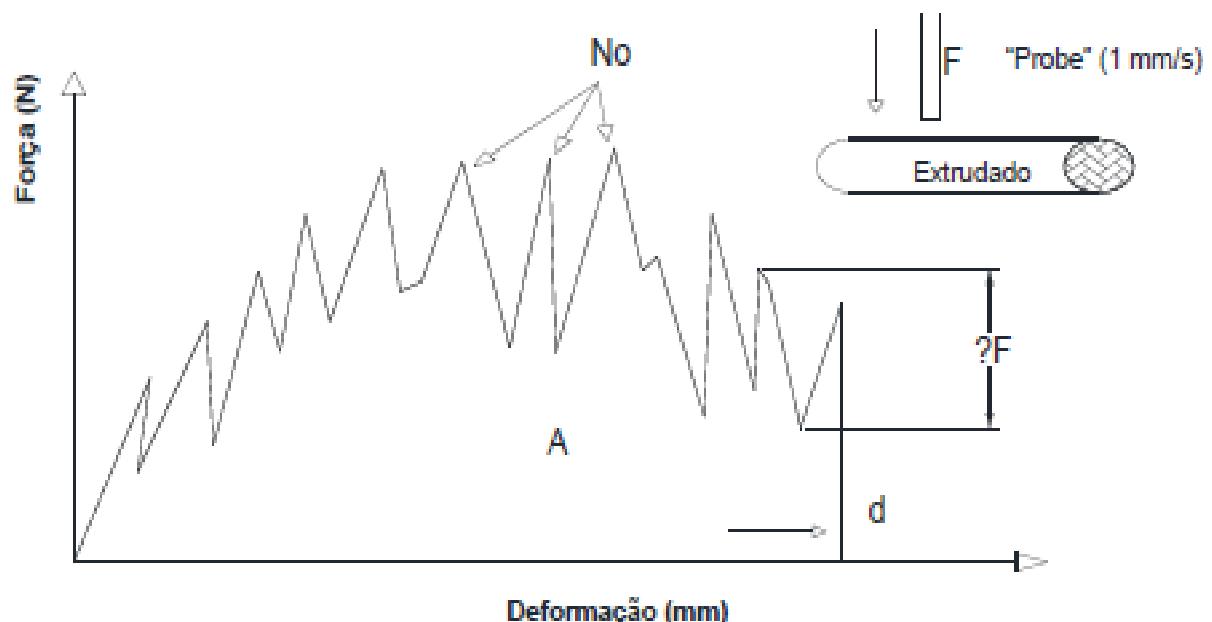


Figura 28. Representação gráfica do resultado típico da força de compressão aplicada sobre um extrudado expandido (Adaptado de BOUVIER et al., 1997).

As condições de análise foram: velocidade anterior à análise 5 mm.s^{-1} , velocidade da análise 1 mm.s^{-1} , até atingir 50% de deformação e velocidade pós-análise de 10 mm.s^{-1} .

Foi realizado um total de 20 repetições por ensaio.

Os dados foram registados pelo software Exponent versão 6.1.2.0 (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra). Como resultado da interpretação do gráfico, avaliou-se o critério de crocância com as equações 11 ao 14:

- Frequência de rupturas N_{sr} em mm^{-1}

$$N_{sr} = N_o / d \quad (11)$$

Onde: N_{sr} é a frequência de rupturas (mm^{-1}); N_o é o número total de pico e d é a distância de compressão do produto (mm).

- Média da força específica das rupturas F_{sr} em N:

$$F_{sr} = \Sigma \Delta F / N_0 \quad (12)$$

Onde: F_{sr} é a média da força específica das rupturas (N); ΔF é a força de queda aplicada que foi gerada por cada pico; N_0 é o número total de picos.

- Média da força específica das rupturas F_c em N:

$$F_c = A / d \quad (13)$$

Onde: F_c é a força de compressão (N); A é a área sob a curva de forças de compressão e d é a distância de compressão do produto (mm).

- Trabalho de crocância W_c em N.mm:

$$W_c = A / N_{sr} \quad (14)$$

Onde: W_c é o trabalho de crocância (N.mm); N_{sr} é o número de rupturas e A é a área sob a curva de forças de compressão.

3.3.9.6 Determinação da viscosidade de pasta

O produto da moagem no moinho de disco e moinho martelo, foi peneirado num conjunto de peneiras para obter-se a fração granulométrica entre 106 e 212 μm que foi a empregada para a determinação do grau de conversão de amido por meio de um analisador de viscosidade (RVA).

A classificação foi realizada com o intuito de padronizar a morfologia das amostras processadas, uma vez que a análise em RVA pode ser influenciada pela distribuição de tamanho das partículas e pela forma dos aglomerados (BECKER et al., 2001).

Para a determinação da viscosidade de pasta foi utilizado o Analisador Rápido de Viscosidade (Rapid Viscosity Analyser, RVA, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Australia), seguindo a metodologia descrita por Ascheri et al. (2006).

As amostras foram analisadas no RVA, o qual foi usado para medir a viscosidade de pasta aparente das amostras em função da temperatura. Para 3g de cada amostra (umidade ajustada para 14%) foram adicionados 25 g de água destilada. A suspensão formada pelo pó e pela água foi inicialmente misturada e levadas a 960 rpm durante 10 s. Para a medida propriamente dita, a suspensão foi mantida a 25°C por 4 min a 160 rpm, para que se pudesse investigar a viscosidade do amido a baixa temperatura (WHALEN et al., 1997).

Posteriormente, a mistura foi aquecida a 95°C sob uma taxa de aquecimento constante de 14°C/min, mantida nesta temperatura por 3 minutos, resfriada a 25°C durante 5 min sob a mesma taxa, e mantida a 25°C por mais 4 min, totalizando 23 min de análise, a 160 rpm.

3.3.9.7 Determinação do índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)

Realizou-se a determinação do ISA e IAA segundo o método descrito por Anderson et al. (1969), com modificações. 1 g de amostra, de umidade conhecida, foi transferida para um tubo de centrífuga. Adicionou-se 5 mL de água deionizada, misturou-se por 20 s em vórtex (Genie 2 Scientific Industries, Bohemia, NY, USA) e em seguida adicionou-se 5 mL de água deionizada. Depois, foi mantida a $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 30 min, sob agitação, em um banho de água tipo Dubnoff NT 232 (Novatecnica, Piracicaba, Brasil) para permitir hidratação completa. Em seguida, foi centrifugado a 9000 rpm a 25°C durante 15 min em uma centrifuga Universal 320R (Hettich, Tuttingen, Alemanha).

O sobrenadante foi cuidadosamente transferido para um prato de evaporação previamente tarado e seco em estufa (WTB Brinder, Tuttlinger, Alemanha) a 105°C durante 14 h para a medição de sólidos solúveis totais. Logo após a retirada do líquido sobrenadante, os tubos foram pesados para calcular o peso do resíduo retido no fundo do tubo de centrifuga.

As análises de ISA e IAA foram conduzidas em triplicata e o cálculo foi realizado usando as equações (15) e (16), modificado por Dogan e Karwe (2003).

$$ISA = (g \text{ sólidos solúveis em água/g amostra seca}) = gss/g \quad (15)$$

$$IAA = (g \text{ água absorvida/g amostra seca} \times (1 - \text{fração solúvel})) = g w / g si \quad (16)$$

3.3.9.8 Determinação da composição química, minerais e fibras dos extrudados

Foram determinadas também a composição química, minerais e fibras das farinhas extrudadas das misturas de arroz, milho e sorgo, segundo metodologia descrita pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2010), antes mencionada (item 3.3.2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização Fisico-Química das Matérias Primas

Os resultados da composição centesimal dos grãos integrais de arroz, milho e sorgo, são apresentados na Tabela 7. Observa-se que o grão de sorgo tem maior conteúdo de cinza (1,84%) e proteína (11,18 %), do que os grãos de arroz (1,19% de cinza; 7,15% de proteína) e de milho (1,33% de cinza; 7,70% de proteína). Do ponto de vista nutricional, a proteína constitui um dos componentes mais importantes, e entre os grãos variou de 7,15 a 11,18 g.100 g⁻¹. O teor de cinzas variou de 1,19 a 1,84 g.100 g⁻¹. Estudos anteriores demonstraram que o teor de cinzas de diferentes genótipos de sorgo pode variar entre 1,3 e 3,4% (MOHARRAM; YOUSSEF, 1995; VARGAS-SOLORZANO et al., 2014).

Tabela 7. Composição química aproximada dos grãos integrais de arroz milho e sorgo.

| COMPONENTES | Arroz | Milho | Sorgo |
|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Umidade | 7,75 ^b ± 0,13 | 8,76 ^a ± 0,00 | 8,09 ^b ± 0,25 |
| Cinzas | 1,19 ^{e,f} ± 0,00 | 1,33 ^d ± 0,01 | 1,84 ^a ± 0,033 |
| Proteína | 7,15 ^f ± 0,04 | 7,70 ^e ± 0,08 | 11,18 ^a ± 0,12 |
| Extrato etéreo | 1,86 ^b ± 0,11 | 3,96 ^a ± 0,12 | 3,87 ^a ± 0,20 |
| Carboidrato^a | 79,38 | 69,53 | 66,47 |
| Fibra Alimentar^a | 2,69 | 8,71 | 8,57 |
| Valor Calórico^{a, **} | 362,78 | 344,65 | 345,31 |

Média ± desvio padrão de medições em duplicita, expresso em g.100 g⁻¹. As medias com letras diferentes, dentro da mesma linha, indicam diferença significativa (P<0,05), ** (kcal/100g), ^a analises que foram realizadas sem repetições (g.100 g⁻¹).

Em se tratando de fibra alimentar, os grãos de milho e sorgo (8,71 e 8,57 g.100 g⁻¹, respectivamente), se destacaram por apresentar quantidades maiores, quando comparados ao arroz (2,69 g.100 g⁻¹). Quanto ao teor de fibra alimentar do sorgo, o resultado foi similar ao encontrado por Vargas-Solorzano et al. (2014), que determinaram o teor de fibra alimentar de farinhas integrais de diferentes genótipos de sorgo e encontraram valores que variaram de 8,52 a 12,86 g.100g⁻¹, e por Khan et al. (2013) que trabalharam com sorgo de pericarpo vermelho e encontraram 9,00 g.100 g⁻¹.

O arroz se destacou por apresentar a maior porção de carboidratos, como de se esperar por se tratar de um material polido, (79,38 g.100 g⁻¹) e, em contrapartida, o menor valor de fibra alimentar (2,69 g.100 g⁻¹).

Um inadequado consumo de fibras pode contribuir para o desenvolvimento de problemas tais como, câncer de colón, diabetes, hipercolesterolemia, arterioscleroses, hipertensão, obesidade, e cálculos biliares, entre outros (ANTILLA, 2004). Considerando as necessidades de fibra alimentar diária, os produtos desenvolvidos neste trabalho seriam altamente recomendados para o consumo. Um aumento da quantidade de fibra alimentar na dieta está relacionado com um aumento na saciedade e redução da quantidade de energia consumida (WANDERS et al., 2014).

De uma forma geral, o teor de extrato etéreo de cereais é consideravelmente reduzido.

O teor de extrato etéreo nos grãos de milho e sorgo foi estatisticamente similar, 3,96% e 3,87%, respectivamente, enquanto o arroz apresentou destacadamente menor teor (1,86%).

O conteúdo de lipídios do arroz polido, se comparado com o integral, é muito baixo (menos de 1%). Entretanto, o grão integral pode conter até 3% visto que cerca de 80% dos lipídios do grão se encontram em suas camadas periféricas (TAIRA, 1995). O mais baixo teor de lipídios encontrado neste trabalho pode ser atribuído à retirada do germe (porção da semente que contém o embrião e lipídios) durante a retirada da casca no beneficiador de laboratório. O perfil de minerais do arroz, milho e sorgo em estudo estão dispostos na Tabela 8. Nesta tabela está incluído também o consumo diário recomendado apresentado pelo trabalho de Gupta e Gupta (2014).

Tabela 8. Perfil de minerais dos grãos integrais de arroz, milho e sorgo.

| MINERAIS | Arroz | Milho | Sorgo | CDR (*) |
|-----------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------|
| Na | 0,39 ^a ± 0,02 | NQ | NQ | 2400 mg |
| K | 209,59 ^h ± 4,13 | 360,14 ^b ± 3,83 | 400,31 ^a ± 0,00 | 3500 mg |
| Mg | 114,27 ^d ± 3,01 | 91,09 ^g ± 1,98 | 192,26 ^a ± 4,78 | 350 mg |
| Ca | 11,19 ^{d e} ± 0,45 | 7,75 ^f ± 0,37 | 17,28 ^a ± 0,05 | 1000 mg |
| Mn | 1,45 ^b ± 0,02 | 0,39 ^g ± 0,05 | 1,55 ^a ± 0,03 | 5 mg |
| Fe | 1,33 ^g ± 0,00 | 1,35 ^g ± 0,30 | 3,22 ^b ± 0,26 | 15 mg |
| Zn | 1,93 ^{c d e} ± 0,03 | 1,87 ^{e f} ± 0,02 | 2,42 ^a ± 0,06 | 15 mg |
| Cu | 0,34 ^a ± 0,00 | 0,15 ^g ± 0,00 | 0,34 ^a ± 0,00 | 2 mg |
| P | 324,97 ^{d e} ± 11,00 | 316,66 ^c ± 0,06 | 496,17 ^a ± 13,91 | 1000 mg |
| Co | NQ | NQ | NQ | – |
| Mo | ND | ND | ND | 75 µg |
| Cr | NQ | NQ | NQ | 120 µg |
| Se | NQ | NQ | NQ | 35 µg |

Média ± desvio padrão de medições em duplicita, expresso em mg.100 g⁻¹. As medias com letras diferentes, dentro da mesma fila, indicam diferença estatística (P<0.05); CDR: Consumo Diário Recomendado, NQ: não quantificado; ND: não detectado. * Gupta e Gupta (2014).

O ser humano necessita de minerais na sua dieta, devido ao fato de, serem estes, os reguladores das funções orgânicas e mantenedores da saúde. Minerais são fundamentalmente metais ou outros compostos inorgânicos. Em quantidade inferior e presentes em todos os tecidos e fluidos corpóreos, os minerais, da mesma forma que a água, carboidratos, proteínas, gorduras, vitaminas e enzimas, são fundamentais para a vida, e sua presença se faz necessária para manter certos processos bioquímicos (SOETAN et al., 2010).

Segundo Gupta e Gupta (2014) os minerais são mais importantes do que as vitaminas, devido ao fato de que a falta de vitaminas no corpo pode ser suprida por alguns minerais, mas a falta de minerais deixa as vitaminas sem utilidade.

Ainda no sentido nutricional, os minerais são substâncias inorgânicas necessárias na forma iônica ou como elemento livre, para o estabelecimento da vida. Os macrominerais (aqueles necessários em maiores quantidades) incluem o sódio, potássio, cloreto, magnésio, fósforo e cálcio. As quantidades necessárias de todos estes minerais, com exceção do cálcio, podem ser facilmente alcançadas por uma dieta normal. Os requerimentos de alguns microminerais (minerais traço) foram estabelecidas para o ferro, cobre, zinco, iodo, e flúor. O cobre e zinco são facilmente satisfeitos por diversas fontes alimentares, porém em altas doses, podem

ser tóxicos (CAMPBELL; FARELL, 2009).

De acordo com a Tabela 8, o sorgo apresentou o maior teor de todos os elementos analisados. Mesmo o alcance dos níveis necessários destes minerais, através de um consumo diário, ser algo possível, deficiências em micronutrientes é o maior problema de saúde pública em muitos países em desenvolvimento, especialmente em crianças e mulheres grávidas (BARTA; SETH, 2002). Em meio a esta realidade, o sorgo se destaca com sendo uma fonte importante de minerais com uma boa contribuição no consumo diário recomendado.

Ao considerar os resultados de composição de minerais, segundo Deosthale e Belavady (1978), as condições de plantio, como composição do solo e natureza podem alterar a qualidade nutricional do grão. Dessa forma, deve-se ter o cuidado de não generalizar o resultado para um determinado cereal e/ou cultivar. No entanto, os resultados encontrados mostram que em comparação com a composição de minerais de cereais refinados, o uso de cereais integrais colabora para maior ingestão de minerais.

Observa-se na Tabela 8 ainda, que os minerais, cobalto (Co), cromo (Cr) e selênio (Se) foram detectados, porém não quantificados para as três matérias primas. O sódio (Na) apenas foi quantificado no arroz. O molibdênio não foi detectado nas matérias primas.

Os resultados do conteúdo de minerais para os grãos de sorgo BRS 310 apresentados neste trabalho são superiores, para todas as análises, aos reportados por Vargas-Solorzano (2013) que avaliou também o cultivar BRS 310. Este resultado é um indicador que variáveis agronômicas e climáticas interferem na absorção de minerais pela planta.

Observa-se na Tabela 8 que os grãos de sorgo apresentam uma quantidade de K (400,31 mg.100 g⁻¹) superior à dos grãos de arroz e milho, sendo estes com 209,60 e 360,15 mg.100 g⁻¹, respectivamente. Nos fluidos intracelulares, o K⁺ é o principal cátion e tem influência no balance ácido-base, na regulação da pressão osmótica, na condução de impulsos nervosos, na contração muscular particularmente do músculo cardíaco, também ajuda no traslado do ATP para a produção do ácido pirúvico entre outras (SOETAN, 2010; GUPTA; GUPTA, 2014).

O conteúdo de manganês (Mn) se destacou no sorgo e no arroz, (1,6 e 1,5 mg.100 g⁻¹ respectivamente) apontando aproximadamente 32% e 30% do consumo diário recomendado. O Mn é um oligoelemento e se encontra em todos os tecidos sendo requerido, para um metabolismo normal de aminoácidos, gorduras, proteínas e carboidratos. Este elemento está presente no desenvolvimento dos ossos, cartilagens, cicatrização de feridas e diversos sistemas enzimáticos (GUPTA; GUPTA, 2014).

A quantidade de ferro encontrada no grão de sorgo é de 21% do recomendado diariamente. (3,22 mg.100 g⁻¹) e o dobro do arroz e do milho. O teor de Fe do milho e do arroz foi estatisticamente similar (1,3 mg.100 g⁻¹ aproximadamente). Esse mineral participa na produção de hemoglobina e mioglobina, na oxigenação das células vermelhas do sangue, essencial para muitas enzimas e fundamental para o crescimento (GUPTA; GUPTA, 2014).

O magnésio (Mg) é o quarto mineral mais abundante no corpo humano e aproximadamente 50% dele se encontra nos ossos e a outra metade nas células; 1% se encontra no sangue. O grão de sorgo contém, aproximadamente, 55% do consumo diário recomendado, e o arroz contém 33%. O Mg tem inúmeras funções no corpo humano e algumas destas estão relacionadas com a contração e relaxamento muscular (SOETAN, 2010; GUPTA; GUPTA, 2014).

O sorgo apresentou importante conteúdo de fósforo (P) com valores em cerca de 50% do consumo diário recomendado. E está presente em cada célula do corpo e é de suma importância em muitos processos metabólicos como tamponantes líquidos. Além disso, é constituinte dos ossos, dentes, praticamente todo o intercâmbio de energia dentro das células dos corpos vivos envolve a formação ou o rompimento de ligações com o P (SOETAN, 2010).

O conteúdo de zinco (Zn) para o milho foi menor ($1,8 \text{ mg.100 g}^{-1}$), ao se comparar com o sorgo ($2,4 \text{ mg.100 g}^{-1}$). O Zn é um oligoelemento essencial para a cicatrização de feridas, tem um papel muito importante como antioxidante junto com as vitaminas C e E. É necessário para mais de 300 reações enzimáticas e é considerado como fundamental para a divisão celular e na síntese do DNA e proteínas (SOETAN, 2010; GUPTA; GUPTA, 2014). A principal fonte de Zn é encontrada nos fitatos dos cereais e seus derivados: cereais matinais, pães, feijão, vegetais, frutas e amêndoas (GUPTA; GUPTA, 2014).

Pode-se observar ainda na Tabela 8 que o conteúdo de cobre (Cu) no arroz e sorgo, não foram significativamente diferentes. Resultado semelhante foi encontrado por Hidalgo-Chavez (2014). O Cu é constituinte de enzimas tipo citocromo oxidase, amino oxidase, catalase, peroxidasse, ácido ascórbico oxidase, plasma monoamina oxidase, entre outras (CHANDRA, 1989). O Cu é um micronutriente essencial para os sistemas homológicos e neurológicos (TAN, 2006). Além disso, é necessário para o crescimento e formação dos ossos, formação de mielina no sistema nervoso, ajuda na incorporação do ferro e na sua transferência nos tecidos do plasma (SOETAN, 2010).

4.2 Determinação da Distribuição Granulométrica das Farinhas de Arroz, Milho e Sorgo

Segundo Ascheri et al., (2008) um dos fatores determinantes na qualidade final dos extrudados é a distribuição do tamanho das partículas, seja para expandidos diretos ou pós-expandidos, e particularmente quando o extrusor de parafuso único é usado. As partículas pequenas são mais rapidamente fundidas e a massa resultante, de viscosidade baixa, não é transportada apropriadamente. Ao contrário, partículas de maior tamanho por não se fundirem adequadamente provocam retenção de fluxo impedindo o processamento. A Tabela 9 apresenta a distribuição da granulometria das matérias primas.

Tabela 9. Granulometria das farinhas integrais de arroz, milho e sorgo.

| Peneira (mm) | Sorgo | | Arroz | | Milho | |
|--------------|-------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|-------------------------|
| 1.7 | 5,43 | \pm 0,15 ^b | 3,70 | \pm 0,53 ^c | 12,93 | \pm 0,87 ^a |
| 1.4 | 17,67 | \pm 0,15 ^b | 13,20 | \pm 1,60 ^c | 22,73 | \pm 0,40 ^a |
| 1.18 | 21,63 | \pm 0,86 ^a | 18,30 | \pm 1,04 ^b | 17,63 | \pm 0,31 ^b |
| 1 | 22,90 | \pm 0,26 ^a | 23,40 | \pm 1,21 ^a | 13,33 | \pm 0,15 ^b |
| 0.85 | 8,97 | \pm 0,06 ^b | 10,47 | \pm 0,95 ^a | 5,40 | \pm 0,00 ^c |
| 0.71 | 6,73 | \pm 0,15 ^b | 9,97 | \pm 0,81 ^a | 6,17 | \pm 0,12 ^b |
| 0.5 | 6,00 | \pm 0,17 ^b | 8,23 | \pm 0,60 ^a | 7,57 | \pm 0,51 ^a |
| fundo | 10,43 | \pm 0,97 ^b | 12,53 | \pm 2,18 ^{a, b} | 14,17 | \pm 0,42 ^a |

Distribuição do tamanho de partículas de farinhas integrais de arroz, milho e sorgo. Teste de Tukey. Média \pm desvio padrão de medições em duplicata, expresso em mg.100 g^{-1} . As medias com letras diferentes, dentro da mesma fila, indicam diferença estatística ($P<0.05$).

Esta distribuição do tamanho da partícula, somado com outras características como fricção da superfície, dureza, coesividade, e formato das partículas individuais assim como o fluxo e características de deformação, são características importantes no desenvolvimento e estabelecimento de sistemas de extrusão (ONWULATA; KONSTANCE, 2006).

Segundo estudos realizados sobre a distribuição granulométrica, os autores concluíram que o tamanho de partícula tem uma influência significativa numa ampla faixa de variáveis do processo de extrusão (ONWULATA; KONSTANCE, 2006; CARVALHO et al., 2010; AL-RABADI et al., 2011b). Segundo, Al-Rabadi et al. (2011b), partículas maiores de sorgo apre-

sentaram menor pressão na saída do extrusor e menor grau de conversão no amido durante o processo de extrusão.

A distribuição granulométrica das partículas das farinhas integrais de arroz, milho e sorgo usadas na preparação das misturas para a extrusão está apresentada na Tabela 9, que mostra que a percentagem de retenção nas peneiras maiores (1,7; 1,4 mm) foi maior para o milho, ou seja, apresentou maior número de partículas de maior tamanho.

Em contraste, o arroz se destacou por apresentar menor granulometria, o que pode ser atribuído ao menor teor de fibra e por apresentar maior teor de carboidratos, na forma de amido. Dessa forma, o efeito da moagem sobre o endosperma vítreo do arroz gerou menores partículas, o que não ocorre quando há fibra insolúvel (farelo), o qual possui maior plasticidade, ou seja, no momento do corte e esmagamento provocado pela moagem esta se deforma mais facilmente sem romper-se completamente. Estas diferenças provavelmente estão relacionadas com o maior conteúdo de fibras (Tabela 7) do milho ($8,71 \text{ g.}100 \text{ g}^{-1}$).

Segundo Peyron et al., (2002) em condições constantes de moagem a facilidade de separação do endosperma pode estar ligado a composição botânica das diferentes partes do grão. A farinha integral de arroz, milho e sorgo apresentaram tamanhos de partícula bastante heterogêneos, mas com os maiores percentuais de retenção nas faixas 1,0 mm (arroz e sorgo) a 1,4 mm (milho). Alguns autores relatam que a granulometria apropriada para obter-se *snacks* com textura crocante seria na faixa entre 710 e 1000 μm .

A importância na uniformidade das partículas também está relacionada com a uniformidade no condicionamento das mesmas. Isso porque partículas e ingredientes diferentes possuem proporções ou taxas de absorção de água diferentes. A taxa de umidificação de cada partícula está relacionada com os princípios da difusividade da água. Portanto, tempo, temperatura, umidade disponível, tamanho de partícula afetam este parâmetro. Uma granulometria uniforme de todos os ingredientes garante hidratação adequada e cozimento uniforme durante o processo de extrusão, impedindo partículas desequilibradas no produto final (CARVALHO et al., 2011).

Uma desuniformidade na granulometria, com tamanhos de partículas muito superiores pode levar à deformidade na aparência no produto final, devido também ao cozimento inadequado de determinadas partículas, o que leva à baixa palatabilidade e rejeição dos produtos por parte dos consumidores (LINDEN; LORIENT, 1994).

4.3. Composição Química, Fibra Alimentar e Minerais dos Extrudados

A composição centesimal das matérias- primas e das farinhas extrudadas está apresentada na Tabela 10.

O processo de extrusão termoplástica, pelo fato de ser um processamento em que a amostra permanece um curto período no interior do extrusor, promove além do aumento da digestibilidade e inativação enzimática, menores perdas de nutrientes, quando comparado a processos convencionais de aplicação de calor (SILVA, 2010).

Em se tratando de teor de umidade, as farinhas extrudadas apresentaram umidade baixa, característica de produtos que foram previamente secos em estufa. A secagem é necessária para que o produto adquira textura crocante (ROUDAUT et al., 2002), propiciando condições adequadas de armazenamento prolongado.

As cinzas fornecem estimativas sobre o conteúdo total mineral dos alimentos. Os maiores valores de cinzas foram encontrados para os tratamentos T6 e T10 ($1,43$ e $1,38 \text{ g.}100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente), enquanto que T3 se destacou por apresentar o mais baixo resultado ($1,14 \text{ g.}100 \text{ g}^{-1}$).

Ainda analisando os dados da Tabela 10, o sorgo e milho, apresentaram maior teor de lipídios (extrato etéreo), sendo cerca duas vezes mais que o arroz. Para as farinhas extrudadas,

o tratamento T1 apresentou o maior teor de lipídios ($1,48 \text{ g.100 g}^{-1}$) que as demais, as quais não diferiram entre si ($P<0,05$).

Tabela 10. Composição química aproximada de arroz, milho, sorgo e tratamentos (misturas de farinhas integrais).

| COMPONENTES | Arroz | Milho | Sorgo | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T10 |
|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Umidade | 7,75 ^b ±0,13 | 8,76 ^a ±0,00 | 8,09 ^b ±0,25 | 2,98 ^c ±0,10 | 2,30 ^d ±0,21 | 2,72 ^{c,d} ±0,08 | 2,04 ^c ±0,07 | 2,74 ^{c,d} ±0,14 | 2,29 ^{d,e} ±0,08 | 2,13 ^c ±0,07 |
| Cinzas | 1,19 ^{c,f} ±0,00 | 1,33 ^d ±0,01 | 1,84 ^a ±0,033 | 1,30 ^d ±0,02 | 1,35 ^{c,d} ±0,01 | 1,14 ^f ±0,00 | 1,33 ^d ±0,00 | 1,23 ^c ±0,01 | 1,43 ^b ±0,01 | 1,38 ^{b,c} ±0,01 |
| Proteína ^f | 7,15 ^f ±0,04 | 7,70 ^c ±0,08 | 11,18 ^a ±0,12 | 8,25 ^d ±0,04 | 8,36 ^{c,d} ±0,04 | 8,71 ^c ±0,04 | 8,5 ^{c,d} ±0,04 | 8,59 ^{c,d} ±0,28 | 9,48 ^b ±0,00 | 9,17 ^b ±0,04 |
| Extrato etéreo | 1,86 ^b ±0,11 | 3,96 ^a ±0,12 | 3,87 ^a ±0,20 | 1,48 ^{b,c} ±0,09 | 0,58 ^d ±0,01 | 0,82 ^d ±0,07 | 0,82 ^d ±0,21 | 0,98 ^{c,d} ±0,28 | 0,51 ^d ±0,00 | 0,72 ^d ±0,06 |
| Carboidrato ^a | 79,38 | 69,53 | 66,47 | 78,44 | 83,47 | 78,82 | 80,81 | 78,58 | 80,65 | 80,85 |
| Fibra Alimentar ^a | 2,69 | 8,71 | 8,57 | 7,56 | 3,95 | 7,82 | 6,48 | 7,89 | 5,49 | 5,78 |
| Valor Calórico^{a, **} | 362,78 | 344,65 | 345,31 | 360,05 | 372,46 | 357,38 | 364,75 | 357,42 | 366,41 | 366,44 |

Média ± desvio padrão de medições em duplicata, expresso em g.100 g-1. As medias com letras diferentes, dentro da mesma linha, indicam diferença significativa (P<0,05), ** (kcal/100g), a analises que foram realizadas sem repetições (g.100 g-1). ^f Fator de conversão: 5,75. Porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

O valor calórico dos tratamentos extrudados variou de 357,38 a 372,46 kcal. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), para indivíduos saudáveis, que exercem atividade moderada, o valor calórico total diário deve ser de 2000 kcal. Então, considerando os valores encontrados, pode-se dizer que uma porção de 100 g de expandidos diretos das misturas de farinhas de cereais integrais, supriria, em média, 18% das recomendações diárias de energia (SOUZA et al., 2010).

O teor de proteína se destacou nos tratamentos T6 e T10, os quais não se apresentaram diferentes estatisticamente entre si (9,48 e 9,17 g.100 g⁻¹, respectivamente) (Tabela 10). Nota-se ainda na Tabela 10, que o sorgo apresentou o maior valor de proteína dentre as matérias primas, porém T3, tratamento com maior fração de sorgo, não se destacou em proteína. Mais uma vez, é possível que o processo de extrusão tenha causado alteração na quantidade original de proteína das misturas.

O conteúdo de fibra alimentar das amostras extrudadas ficou entre 3,95 e 7,89 g.100 g⁻¹. Ao comparar este resultado com a literatura, Carvalho et al., (2012) encontraram o valor de 6,16% para extrudados de farinhas de arroz e de bandinha de feijão, enquanto Menezes et al., (2009) encontrou menores valores, 4,90% para cereal matinal de aveia, amêndoas e mel, 3,57% para cereal matinal de milho e 2,15% para cereal matinal de milho, trigo e aveia. Os valores encontrados foram ainda superiores aos de Carvalho et al. (2009), 4,93 a 6,22%, em extrudados de terceira geração obtidos a partir de farinhas de mandioca e pupunha.

Dessa forma, o resultado do teor de fibra dos tratamentos indicou que todas as amostras podem ser consideradas como fonte de fibra alimentar, superando o mínimo preconizado pela legislação brasileira (>3 g.100 g⁻¹). Já os extrudados, T1, T3, T4 e T5, podem receber a alegação de alimento com alto teor de fibras (>6 g.100 g⁻¹).

De forma a ilustrar o teor da fibra alimentar nas matérias primas e misturas processadas por extrusão, os resultados foram representados na forma gráfica na Figura 31. Observa-se que as misturas processadas por extrusão que em sua composição tiveram maior teor de arroz apresentaram menor teor de fibra alimentar, como é o caso de T2. O ponto central (T10), por exemplo, apresentou nível intermediário de fibra alimentar.

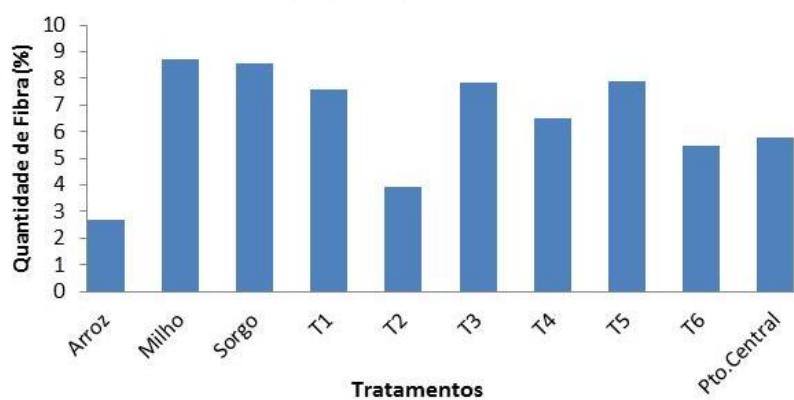


Figura 31. Quantificação de fibra alimentar nas farinhas integrais de arroz, milho e sorgo; e nos tratamentos. Porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); Ponto Central (T10): (33,3%; 33,3%; 33,3%).

É interessante notar que os tratamentos T3, o qual continha elevado teor de sorgo e T5, o qual possui teores similares de milho e sorgo, apresentaram considerável teor de fibra alimentar, próximo ao da matéria prima. Os dados referentes aos teores de minerais das amostras cruas e processadas por extrusão estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Perfil de minerais de arroz, milho, sorgo e tratamentos (misturas de farinhas integrais)

| MINERAIS | CDR (*) | Arroz | Milho | Sorgo | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T10 |
|----------|------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Na | 2400 mg | 0,39 ^a ± 0,022 | NQ | NQ | NQ | 0,34 ^{a,b} ± 0,018 | 0,30 ^{b,c} ± 0,030 | 0,33 ^{a,b,c} ± 0,013 | 0,23 ^c ± 0,020 | 0,24 ^{a,c} ± 0,00 | 0,27 ^a ± 0,00 |
| K | 3500 mg | 209,59 ^b ± 4,134 | 360,14 ^b ± 3,837 | 400,31 ^a ± 0,00 | 343,61 ^c ± 0,878 | 271,17 ^a ± 3,976 | 310,46 ^{a,f} ± 2,724 | 303,84 ^f ± 2,908 | 322,52 ^a ± 0,304 | 303,84 ^f ± 1,694 | 314,41 ^{a,d} ± 1,363 |
| Mg | 350 mg | 114,27 ^d ± 3,014 | 91,09 ^a ± 1,982 | 192,26 ^a ± 4,788 | 99,83 ^f ± 0,431 | 127,21 ^{b,c} ± 1,080 | 105,86 ^{a,f} ± 1,098 | 113,80 ^{a,c} ± 0,392 | 102,21 ^f ± 0,622 | 133,38 ^b ± 1,015 | 119,62 ^{a,d} ± 1,327 |
| Ca | 1000 mg | 11,19 ^{a,c} ± 0,457 | 7,75 ^f ± 0,375 | 17,28 ^a ± 0,053 | 10,04 ^c ± 0,302 | 12,74 ^{b,c,d} ± 0,00 | 13,98 ^b ± 1,396 | 10,87 ^{a,c} ± 0,293 | 11,69 ^{a,d,c} ± 0,013 | 13,41 ^{b,c} ± 0,248 | 12,57 ^{b,c,d} ± 0,519 |
| Mn | 5 mg | 1,45 ^b ± 0,025 | 0,39 ^a ± 0,053 | 1,55 ^a ± 0,037 | 0,73 ^f ± 0,022 | 1,35 ^c ± 0,006 | 1,33 ^c ± 0,023 | 1,00 ^c ± 0,016 | 1,01 ^c ± 0,002 | 1,25 ^a ± 0,004 | 1,00 ^c ± 0,018 |
| Fe | 15 mg | 1,33 ^a ± 0,008 | 1,35 ^a ± 0,302 | 3,22 ^a ± 0,268 | 1,85 ^a ± 0,048 | 2,26 ^{a,f} ± 0,071 | 4,611 ^a ± 0,028 | 1,76 ^f ± 0,037 | 2,22 ^a ± 0,007 | 2,63 ^a ± 0,054 | 2,33 ^{a,d} ± 0,023 |
| Zn | 15 mg | 1,93 ^{a,c,d} ± 0,030 | 1,87 ^{a,f} ± 0,025 | 2,42 ^a ± 0,064 | 2,11 ^b ± 0,047 | 2,05 ^{b,c} ± 0,013 | 1,75 ^f ± 0,033 | 2,05 ^{b,c} ± 0,016 | 1,89 ^{a,c} ± 0,016 | 2,08 ^b ± 0,021 | 2,02 ^{a,c,d} ± 0,025 |
| Cu | 2 mg | 0,34 ^a ± 0,004 | 0,15 ^a ± 0,003 | 0,34 ^a ± 0,0033 | 0,23 ^f ± 0,002 | 0,33 ^{b,c} ± 0,006 | 0,35 ^a ± 0,011 | 0,26 ^a ± 0,00 | 0,29 ^{a,c} ± 0,00 | 0,31 ^{b,c} ± 0,007 | 0,28 ^{a,c} ± 0,003 |
| P | 1000 mg | 324,97 ^{a,d} ± 11,006 | 316,66 ^a ± 0,064 | 496,17 ^a ± 13,915 | 310,42 ^c ± 1,868 | 360,54 ^{a,c} ± 2,313 | 231,56 ^a ± 4,890 | 345,51 ^{a,d} ± 4,204 | 268,38 ^f ± 0,352 | 373,88 ^b ± 2,231 | 350,10 ^{b,c,d} ± 7,502 |
| Co | | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ |
| Mo | 75 µg | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| Cr | 120 µg | NQ | NQ | NQ | ND | NQ | ND | NQ | ND | NQ | NQ |
| Se | 35 µg | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ | NQ |
| Pb | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |

Média ± desvio padrão de medições em duplicata, expresso em mg.100 g⁻¹. As medias com letras diferentes, dentro da mesma fila, indicam diferença estatística (P<0,05); Porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%); CDR: Consumo Diário Recomendado, NQ: não quantificado; ND: não detectado. * Gupta e Gupta (2014).

Observa-se na Tabela 11, que o sorgo se destacou como a matéria prima com a maior quantidade de todos os minerais. Os resultados mostram ainda que o tratamento T1, apresentou o melhor resultado para o mineral potássio (K) ($343,6 \text{ mg.100 g}^{-1}$), sendo diferente significativamente dos demais. Os tratamentos T3, T4 e T6, semelhantes estatisticamente, se destacaram com o menor valor para este mineral.

Com relação às matérias primas, o sódio (Na), foi analisado apenas no arroz ($0,39 \text{ mg.100 g}^{-1}$), e nos extrudados, foi possível verificar que nos tratamentos, T2 e T4 ($0,34$ e $0,33 \text{ mg.100 g}^{-1}$), formulados com maior porcentagem de arroz, o valor de Na apresentou valor estatisticamente semelhante ao da matéria prima.

Os tratamentos T1, T2, T4, T6, e T10 apresentaram os maiores valores para zinco (Zn), sendo semelhante estatisticamente entre si. Já T3, foi o que expressou menor quantidade de Zn ($1,76 \text{ mg.100 g}^{-1}$).

Os minerais cobalto (Co), molibdênio (Mo), cromo (Cr), selênio (Se), chumbo (Pb) foram detectados, porém não quantificados.

O tratamento T2 e T3 apresentaram o maior teor de Manganês (Mn) ($1,352$ e $1,337 \text{ mg.100 g}^{-1}$) e T1 o menor ($0,73 \text{ mg.100 g}^{-1}$). T3 foi o tratamento que apresentou maior teor de ferro e cobre, $4,61$ e $0,35 \text{ mg.100 g}^{-1}$, respectivamente. O magnésio (Mg) pode ser visto em destaque em T2 e T6 ($127,2$ e $133,3 \text{ mg.100 g}^{-1}$).

Para o cálcio (Ca), os tratamentos com maiores valores encontrados foram, T2, T3, T6 e T10 ($12,74$; $13,98$; $13,41$ e $12,57 \text{ mg.100 g}^{-1}$, respectivamente).

De acordo com a Portaria Nº 27/1998, da ANVISA - Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar, os alimentos fonte de minerais são aqueles com mínimo de 15% da IDR/100 g do produto pronto e alimentos com elevado teor, apresentam um mínimo de 30% da IDR/100 g do produto.

Para o mineral ferro, o sorgo pode ser considerado fonte desse mineral, juntamente com os tratamentos T2, T6 e T10. Porém, para o T3 é correto afirmar, que este produto apresenta elevado teor de ferro. Por outro lado, o arroz, o milho, T1, T4, T5, apresentaram teores muito baixos de ferro e não conseguem atingir o mínimo recomendado pela legislação.

Os resultados mostram então, que o tratamento T1, apresentou o melhor resultado para o mineral potássio (K) ($343,6 \text{ mg/100 g}^{-1}$), sendo diferente significativamente dos demais e revelando atingir 98% do consumo diário recomendado, caracterizando, portanto o T1 como um alimento com elevado teor de mineral K.

Como alimento fonte de minerais, ou seja, aqueles que apresentam pelo menos 15% da IDC, a mistura T1 seria indicada para os minerais Mg, Cu e Mn, enquanto T3 para P. Em relação ao Ca, nenhuma mistura atingiu a 15% da IDC, similar ao observado para Zn. Quanto ao Fe, as misturas T1, T4 e T5 não poderiam ser consideradas fonte deste micronutriente, enquanto T2, T6 e T10 poderiam ser considerados alimentos que atenderiam a IDR de Fe. A mistura T3 se destacou com 30% da IDC em Fe e pode ser considerada como uma interessante fonte deste importante micronutriente.

A anemia por deficiência de ferro atinge cerca de 46 a 48% de crianças e gestantes, respectivamente, em âmbito mundial, além de ser considerado um dos principais problemas de saúde pública de países em desenvolvimento. No Brasil, é o maior problema relacionado à deficiência de micronutrientes (COZZOLINO, 2007). Sendo assim, algumas destas formulações e seus extrudados, poderiam ser considerados alimentos interessantes a serem consumidos em dietas por pessoas com deficiência em Fe.

O ferro, assim como o cálcio, zinco e magnésio, podem se tornar indisponíveis para absorção pela presença de fatores antinutricionais, como ácido fítico e os fosfatos presentes nos alimentos, principalmente nas leguminosas como o feijão. O ácido fítico, além de quelar os minerais como cálcio, ferro e zinco, podem se combinar com proteínas e amido, resultando

na redução da biodisponibilidade destes nutrientes para o organismo (OATWAY et al., 2001). Os resultados de minerais mostraram que as farinhas mistas extrudadas de arroz, milho e sorgo apresentaram bons resultados de minerais, principalmente ferro e zinco.

4.4 Densidade Aparente (DA)

A densidade aparente é uma medida importante no desenvolvimento de *snacks* em escala industrial. Por meio da verificação do peso e volume dos extrudados é possível planejar, por exemplo, o tamanho de embalagens, o tipo de material a ser utilizado na confecção das mesmas, o espaço ocupado pelo produto dentro de cada lote a ser encaminhado para o transporte, entre outros (SILVA, 2010).

A densidade aparente é inversamente proporcional ao índice de expansão radial (ALVAREZ-MARTINEZ et al., 1988). Logo, extrudados com elevados índices de expansão radial, como no caso da mistura correspondente ao tratamento T2, o qual possui alta proporção de arroz em sua composição, tenderam a apresentar menor densidade aparente (Tabela 12).

Similar resultados foi observado no trabalho de Ruiz-Ruiz et al., (2008), estes autores observaram que produtos adicionados com alto teor de proteína, quando comparados aos produtos elaborados apenas com milho, estes apresentaram uma influência negativa sobre a densidade, pois o cisalhamento e temperatura durante a extrusão levaram a um intenso entrelaçamento entre as proteínas, causando aumento da texturização das mesmas. Dessa forma, alto conteúdo de proteína em uma mistura pode favorecer o aumento da densidade do extrudado, como observado nos extrudados adicionados com maior teor de sorgo (T3).

Foi observado que a densidade aparente tendeu a aumentar com o aumento do teor de fibras. Isto se dá, devido ao fato das fibras, no processo de extrusão, causarem a ruptura das paredes celulares antes que as bolhas de gás se expandam no seu real potencial (NASCIMENTO, 2010).

Tabela 12. Densidade aparente de extrudados de misturas de farinhas integrais de arroz, milho, sorgo.

| TRATAMENTOS | Densidade Aparente (g.cm ³) |
|-------------|---|
| T1 | 0,210 ± 0,021 |
| T2 | 0,152 ± 0,013 |
| T3 | 0,214 ± 0,014 |
| T4 | 0,173 ± 0,015 |
| T5 | 0,204 ± 0,014 |
| T6 | 0,190 ± 0,014 |
| T7 | 0,195 ± 0,012 |
| T8 | 0,186 ± 0,017 |
| T9 | 0,186 ± 0,011 |
| T10 | 0,186 ± 0,018 |

Tabela resumo da média, desvio padrão. Porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz% e sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

Por outro lado, é importante observar que as misturas de farinhas integrais dos tratamentos com alto teor de fibra alimentar (7,89 g.100 g⁻¹ em T5) poderiam levar ao baixo grau de expansão na extrusão (T1, T3 e T5), e como consequência, a densidade é afetada de forma inversa. Para a densidade aparente, o conteúdo de fibra teve influência nos resultados analisados. A densidade aparente é uma propriedade que está relacionada com a expansão do produto (MENG et al., 2010).

Como observado os maiores valores de densidade aparente foram obtidos nos tratamentos T1 (0,210 g/cm³); T3 (0,214 g/cm³); T5 (0,204 g/cm³) que corresponderam aos tratamentos com maiores conteúdos de fibra alimentar.

Por meio da avaliação do diagrama de Pareto (Figura 32) é possível observar que o modelo linear resultou em coeficientes significativamente diferentes ($P < 0,05$). Isto mostra que o sorgo, milho e arroz influenciaram na resposta para densidade aparente, respectivamente.

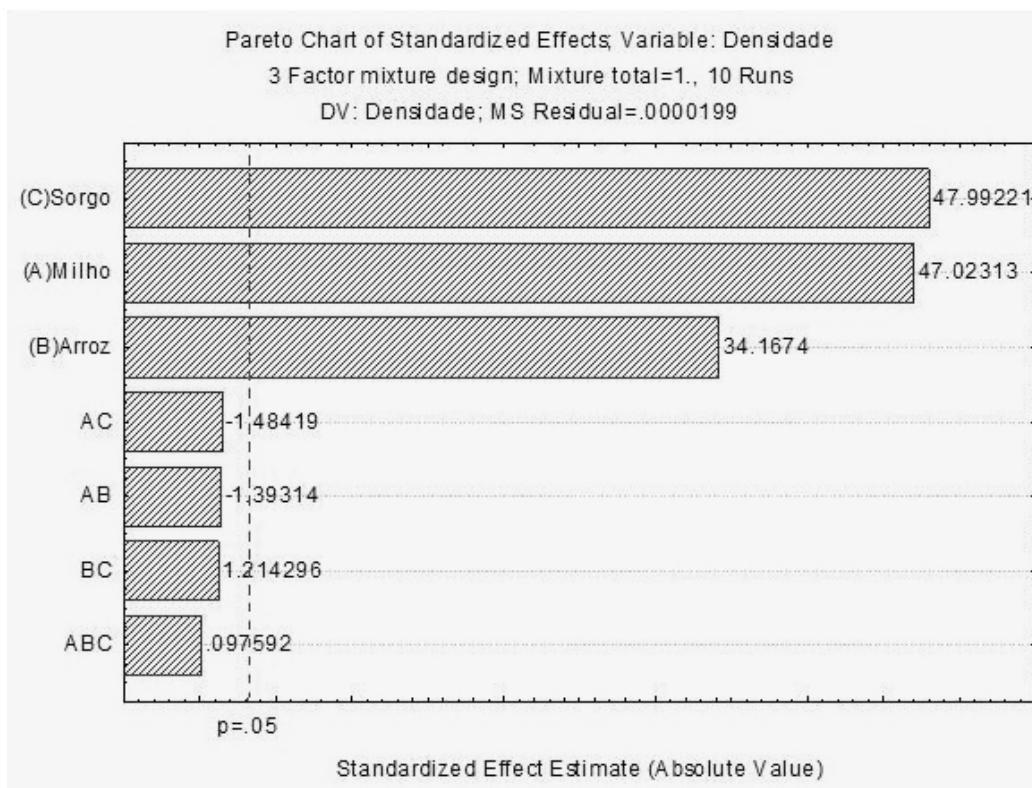


Figura 32. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o comportamento da densidade aparente dos extrudados.

As misturas que apresentaram maior teor de sorgo e milho em sua composição foram aquelas com maior valor de densidade, o que pode ser claramente observado no diagrama de pareto, ilustrado na Figura 32, bem como na superfície de resposta da Figura 33. Ao contrário, há uma considerável tendência em reduzir os valores de densidade aparente nos extrudados com mais alto teor de arroz, o que pode ser notado na superfície de resposta pela predominância da cor verde. A redução da densidade aparente dos extrudados, adicionados com maior teor de arroz, estaria relacionado com a composição centesimal, ou seja, nestas amostras de farinha integral de arroz o teor de fibra alimentar é consideravelmente menor (Tabela 10).

Segundo Mohamed (1990), partículas maiores, que estariam associadas à presença de fibra insolúvel, levariam a um aumento na densidade aparente, concordando com o resultado

encontrado neste trabalho. Ao analisar a granulometria das amostras, observou-se que o tratamento que apresentou maior quantidade de partículas maiores foi adicionado com maior teor de milho (T1).

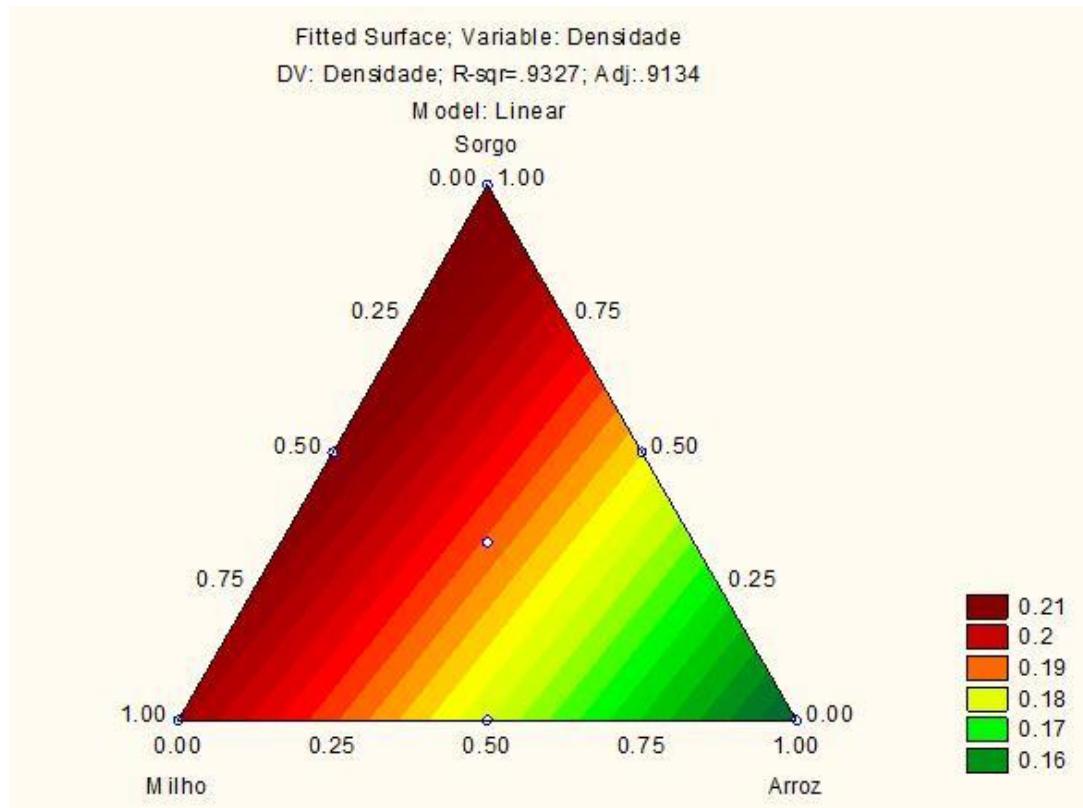


Figura 33. Superfície de resposta do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo sobre comportamento da densidade aparente dos extrudados.

4.5 Energia Mecânica Específica (EME)

Os resultados de EME são apresentados na Tabela 13 e variaram de 364,90 a 521,77 kJ/kg. O tratamento com maior quantidade de fibra, também levou a um maior esforço do extrusor respondendo com a maior EME (T5 com 521,77 kJ/kg), já que o torque (N.m) variou de 20,83 a 28,91.

No presente trabalho, não houve alteração na velocidade do parafuso, porém, é sabido que tal alteração pode influenciar na EME. O trabalho elaborado por Meng et al., (2010), o qual produziu extrudados expandidos a base de grão de bico também destacou que o aumento da velocidade do parafuso resultou em um aumento os índices de expansão dos produtos.

A proporcionalidade entre o aumento da rotação do parafuso, e o aumento do IER, pode ser explicada pela redução da massa molar do amido que foi quebrado e fundido no processo de extrusão o que favoreceu para a manutenção das células no interior do polímero, aumentando a porosidade e a expansão da estrutura final das farinhas mistas extrudadas.

Porém, como antes mencionado, não houve variação de temperatura, umidade e rotação do parafuso. Logo, a partir da quantidade de fibras contida em cada tratamento (parâmetro variável), é possível destacar a variação das respostas de EME nos extrudados produzidos em tais condições (Tabela 13).

Tabela 13. Resumo dos parâmetros de extrusão das mistura de farinha.

| Ensaio | Torque (N.m) | Rotação dos parafusos (rpm) | Temperaturas (°C) | | | | Vazão (kg/h) | Energia mecânica específica (kJ/kg) |
|------------|------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------------|
| | | | Zona modular 1 | Zona modular 2 | Zona modular 3 | Produto fundido | | |
| T1 | $20,83 \pm 2,12$ | $200 \pm 0,0$ | $48,3 \pm 0,6$ | $100,0 \pm 1,3$ | $129,6 \pm 1,4$ | $144,8 \pm 5,0$ | $4,30 \pm 0,10$ | $364,90 \pm 37,15$ |
| T2 | $28,83 \pm 3,07$ | $200 \pm 0,0$ | $49,6 \pm 0,6$ | $101,2 \pm 0,7$ | $131,0 \pm 0,5$ | $149,7 \pm 2,3$ | $5,21 \pm 0,14$ | $416,86 \pm 44,46$ |
| T3 | $22,37 \pm 1,23$ | $200 \pm 0,0$ | $49,0 \pm 0,2$ | $100,0 \pm 0,2$ | $131,2 \pm 0,5$ | $153,9 \pm 1,2$ | $4,17 \pm 0,10$ | $520,22 \pm 59,14$ |
| T4 | $25,49 \pm 2,00$ | $200 \pm 0,0$ | $50,0 \pm 0,0$ | $99,6 \pm 0,5$ | $130,9 \pm 0,6$ | $151,2 \pm 0,4$ | $4,42 \pm 0,05$ | $491,34 \pm 55,91$ |
| T5 | $21,28 \pm 1,33$ | $200 \pm 0,0$ | $50,0 \pm 0,0$ | $100,0 \pm 0,0$ | $130,4 \pm 0,5$ | $153,8 \pm 0,4$ | $4,16 \pm 0,02$ | $521,77 \pm 59,21$ |
| T6 | $27,82 \pm 2,09$ | $200 \pm 0,0$ | $50,0 \pm 0,0$ | $100,0 \pm 0,0$ | $130,0 \pm 0,0$ | $151,9 \pm 0,4$ | $4,37 \pm 0,00$ | $497,03 \pm 56,39$ |
| T7 | $23,04 \pm 1,47$ | $200 \pm 0,0$ | $50,0 \pm 0,0$ | $100,0 \pm 0,0$ | $130,0 \pm 0,0$ | $153,1 \pm 0,3$ | $4,47 \pm 0,07$ | $485,84 \pm 55,10$ |
| T8 | $26,75 \pm 2,17$ | $200 \pm 0,0$ | $50,0 \pm 0,0$ | $100,0 \pm 0,0$ | $130,0 \pm 0,0$ | $152,3 \pm 0,5$ | $4,35 \pm 0,06$ | $499,11 \pm 56,61$ |
| T9 | $22,66 \pm 1,57$ | $200 \pm 0,0$ | $50,0 \pm 0,0$ | $100,0 \pm 0,0$ | $130,0 \pm 0,0$ | $153,0 \pm 0,1$ | $4,64 \pm 0,00$ | $467,38 \pm 53,05$ |
| T10 | $28,91 \pm 2,49$ | $200 \pm 0,0$ | $46,5 \pm 0,5$ | $100,1 \pm 2,7$ | $128,4 \pm 0,6$ | $136,2 \pm 4,8$ | $5,20 \pm 0,03$ | $419,45 \pm 36,17$ |

Tabela resumo da média, desvio padrão. Porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz% e sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

A análise pode ser complementada com o diagrama de Pareto (Figura 34), o qual mostrou que o processamento de misturas com maior teor de sorgo resultou em maior EME, seguido de arroz e milho. A presença de maior teor de fibra alimentar (maior teor de sorgo, T3 e T5), pode ter contribuído para este resultado.

Pode-se observar pelo diagrama de Pareto (Figura 34) que a EME sofreu maior influência do sorgo (C), provavelmente pela presença de maior teor de proteína em sua composição química, seguido do arroz (B) e milho (A) ($P > 0,05$). As interações dos componentes arroz e milho (AB) e milho e sorgo (AC) pouco influenciaram a EME. A interação dos três componentes (ABC) não foi significativa para a EME.

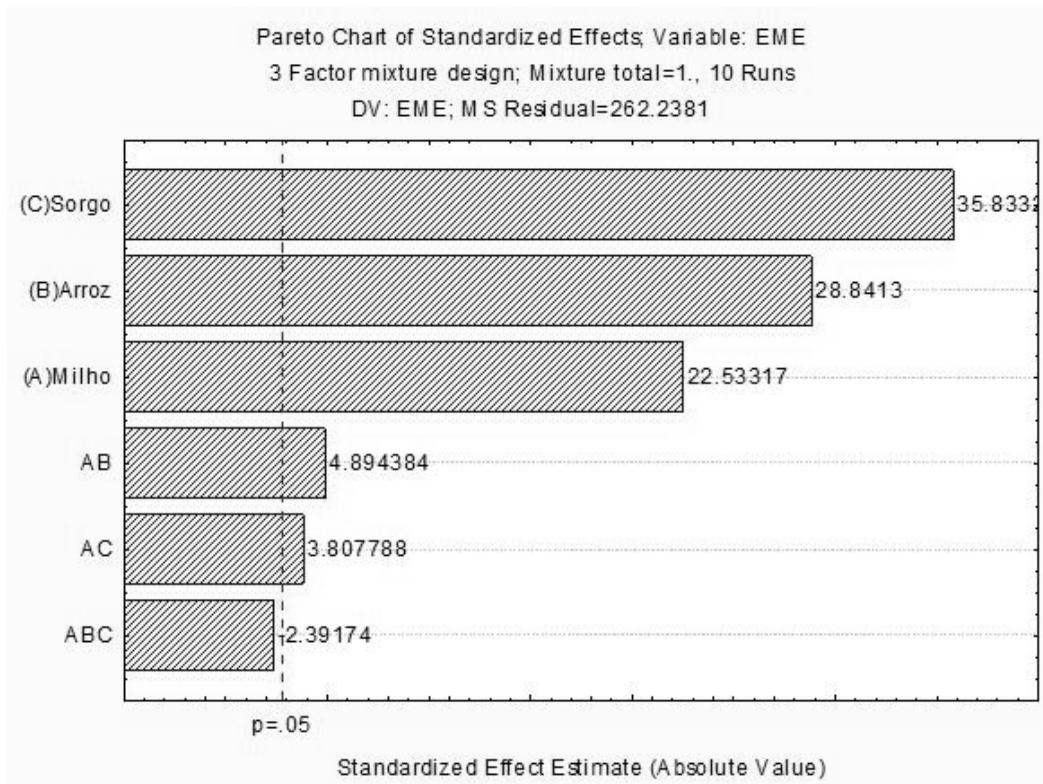


Figura 34. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o comportamento da energia mecânica específica.

Segundo a superfície de resposta (Figura 35) as misturas adicionadas com maior teor de sorgo apresentaram maiores valores de EME, particularmente os tratamentos T5 e T3 (Tabela 13). Em contraste, T2 e T1, ambos com menor adição de sorgo, apresentaram menor valor. Os maiores valores de EME parecem estar associados à maior presença de fibras e proteína nas misturas. A fibra insolúvel tende a aumentar a energia mecânica no sistema por provocar aumento da resistência ao fluxo do material fundido no interior do extrusor, bem como na saída da matriz (DUARTE et al., 2009).

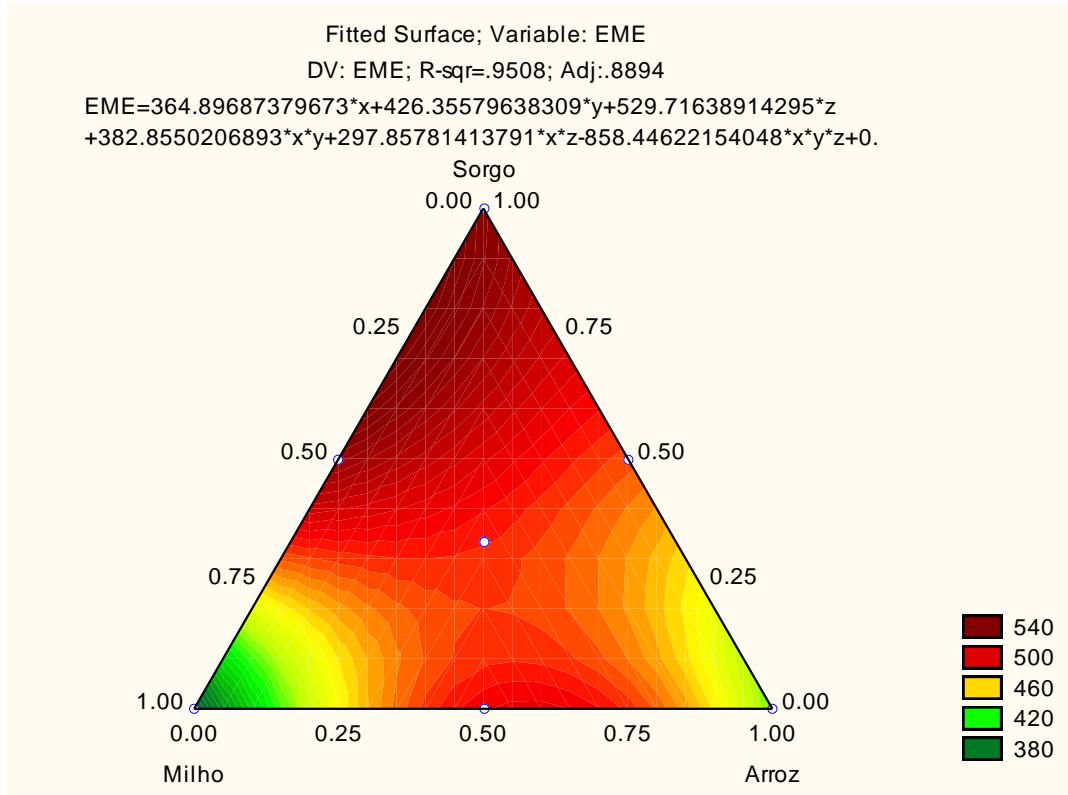


Figura 35. Superfície de resposta do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo sobre comportamento da energia mecânica específica.

4.6 Índice de Expansão (IE)

Os resultados obtidos no presente estudo, para o índice de expansão radial dos extrudados, variaram de 12,17 a 8,62 nos diferentes tratamentos (Tabela 14), sendo o maior valor encontrado no tratamento T2, elaborado com 15% de farinha de milho, 70% de arroz e 15% de farinha de sorgo.

Devido ao fato de o grão de arroz ter passado pelo processo de beneficiamento, é possível que parte de sua fibra tenha sido removida contribuindo assim para maior expansão, provavelmente devido ao maior teor da fração amilácea presente nos tratamentos com maior teor de arroz.

Os valores encontrados foram superiores aos observados por Carvalho et al., (2012) de 7,75, que estudou a expansão de extrudados a partir de farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão. Já Lustosa et al., (2009) verificaram variação de 3,29 a 4,56 para extrudados de farinha de mandioca enriquecidos com caseína.

Tabela 14. Índices de expansão dos extrudados de diferentes tratamentos á base de farinha de multicereais integrais (arroz, milho e sorgo).

| TRATAMENTOS | IER | IEL | IEV |
|-------------|--------------|-------------|--------------|
| T1 | 8,62 ± 0,91 | 1,01 ± 0,08 | 8,64 ± 0,80 |
| T2 | 12,17 ± 0,76 | 0,92 ± 0,07 | 11,19 ± 0,95 |
| T3 | 8,72 ± 0,40 | 1,02 ± 0,03 | 8,93 ± 0,54 |
| T4 | 10,50 ± 0,82 | 0,94 ± 0,06 | 9,90 ± 0,84 |
| T5 | 8,97 ± 0,60 | 1,04 ± 0,04 | 9,32 ± 0,61 |
| T6 | 9,72 ± 0,82 | 0,94 ± 0,05 | 9,10 ± 0,73 |
| T7 | 9,56 ± 0,51 | 0,96 ± 0,05 | 9,17 ± 0,55 |
| T8 | 9,94 ± 0,99 | 0,96 ± 0,05 | 9,50 ± 0,86 |
| T9 | 9,89 ± 0,45 | 1,01 ± 0,05 | 10,01 ± 0,57 |
| T10 | 9,73 ± 1,06 | 0,97 ± 0,05 | 9,45 ± 0,99 |

Porcentagem de farinhas integrais por tratamento (milho%, arroz% e sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%)

Os expandidos do Tratamento T4, compostos pela fração 42,5% de farinha milho, 42,5% de arroz e 15% de farinha de sorgo, alcançaram o segundo lugar em expansão (10,50). compostos pela fração 42,5% de farinha milho, 42,5% de arroz e 15% de farinha de sorgo.

A farinha de sorgo dificultou a expansão possivelmente, por apresenta a maior quantidade de proteína em sua composição centesimal.

Durante o processo de extrusão, a presença de fibras e proteína diminui a capacidade de expansão dos grânulos de amido, uma vez que estes componentes reagem com o amido e impossibilitam a consequente evaporação da água presente no grânulo (ANTON et al., 2009). Esta explicação poderia ser usada para as misturas adicionadas com maior teor de milho e de sorgo.

A expansão radial é uma das medidas que mostra claramente o efeito das interações na conversão do amido como resultado do processo de extrusão. É comum afirmar que, os extrudados com alta expansão, como vistos em T2 e T4, são o resultado de um alto cisalhamento, combinação de alta pressão e temperatura, alta viscosidade da pasta, e permitem incorporar bolhas de ar na matriz de amido quando sai do extrusor (NASCIMENTO et al., 2012). No entanto, deve-se observar que as amostras com maior cisalhamento, traduzido pela leitura da EME, não apresentaram maior expansão, o que fora explicado pela presença de maior teor de fibras na mistura do sorgo e do milho.

Os tratamentos T1, T3 e T5 foram aqueles que apresentaram maior teor de fibra alimentar, o que pode ter contribuído para reduzir os valores obtidos de IER, que por sua vez, se mostrou inversamente proporcional à densidade aparente (Tabela 15).

Tabela 15. Comparaçao entre quantidade de fibra, IER e DA dos tratamentos (milho%, arroz% e sorgo%): T1(70%; 15%; 15%), T3 (15%; 15%; 70%);, T5 (42,5%; 15%; 42,5%).

| TRATAMENTO | > FIBRAS | < IER | > DA |
|------------|----------|-------|------|
| T1 | 7,56 | 8,62 | 0,21 |
| T3 | 7,82 | 8,72 | 0,21 |
| T5 | 7,89 | 8,92 | 0,20 |

IER: Índice de expansão radial; DA: Densidade aparente.

Resultados similares foram encontrados por Berglund et al. (1994) que, avaliando extrudados de cevada contendo altos teores de fibras, verificaram que a expansão dos mesmos foi inibida pelo aumento das fibras, resultando em aumento na densidade. Com um aumento no conteúdo de fibra alimentar, os autores apontaram que ocorreu uma redução no teor de amido, interferindo na expansão do produto. A presença de fibras proporciona o rompimento das paredes das células e previne que as bolhas de gás expandam até o seu potencial máximo. Outros autores também observaram o mesmo comportamento (HASHIMOTO; GROSSMANN, 2003).

Analizando as respostas obtidas no presente estudo, verificou-se que os tratamentos que apresentaram os menores valores para expansão foram aqueles que apresentaram maior teor de milho (T1) e sorgo (T3) na mistura, tendo como resposta, respectivamente, 8,62 e 8,72.

Ao verificar os possíveis fatores de interferência neste processo, vemos que T1 é o tratamento que apresenta maior porcentagem de farinha de milho, que demonstrou ser a farinha que tem, em sua composição, a maior fração de fibra alimentar. E quanto ao tratamento T3, este tem em maior proporção a farinha de sorgo, que traz em sua composição fração pareada ao milho no que tange a fração de fibras, porém é a matéria prima de maior destaque em proteína.

Pode-se observar pelo diagrama de Pareto (Figura 36) que o IER sofreu maior influência do arroz (B), seguido do sorgo (C) e do milho (A), ($P > 0,05$). Apenas a interação dos componentes arroz e sorgo (BC), influenciou de forma mínima o IER. Provavelmente, esta resposta está relacionada ao conteúdo de fibra, sendo menor nas misturas com maior teor de arroz. Sendo assim, o tratamento com maior proporção de arroz foi o que expressou maior valor de IER (Tabela 14).

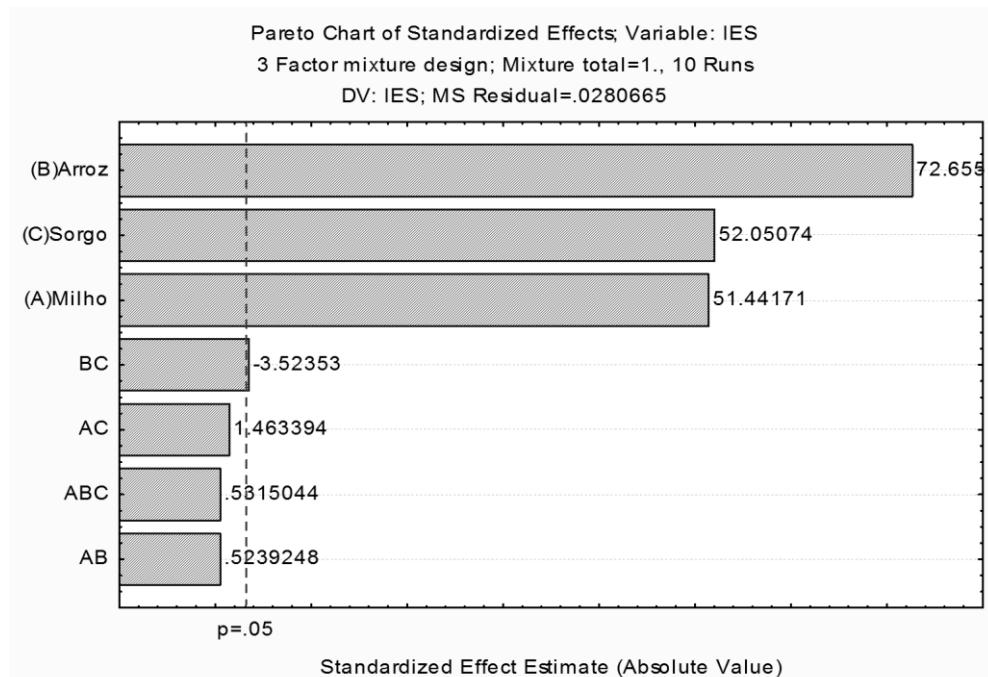


Figura 36. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o índice de expansão radial/seccional dos extrudados.

Os resultados do presente estudo também se mostram superiores aos de Leoro (2007), que encontrou valores de expansão variando de 1,02 a 4,11, para o cereal matinal extrudado orgânico à base de farinha de milho e de farelo de maracujá e, ainda, superior aos resultados de expansão encontrados por Ruiz-Ruiz et al. (2008) entre 1,94 a 2,10, os quais trabalharam com farinha mista de milho e feijão para produção de extrudados expandidos.

Os tratamentos do ponto central, T7, T8, T9 e T10, com proporção de 33,3% para as farinhas de milho, arroz e sorgo, apresentaram expansão intermediária aos demais. O tratamento T5 (42,5% de milho; 15% de arroz; 42,5% de sorgo), com menor proporção de arroz, apresentou expansão inferior a dos tratamentos do ponto central.

O gráfico de Pareto para IES (Figura 37) com valor $P > 0,05$, mostra que o arroz exerce maior influência no IES e os modelos vistos são linear (B, C e A). Apenas a interação dos componentes arroz e sorgo (BC), influenciou de forma negativa o IES. $P > 0,75$, portanto sendo possível a visualização da superfície de resposta que segue:

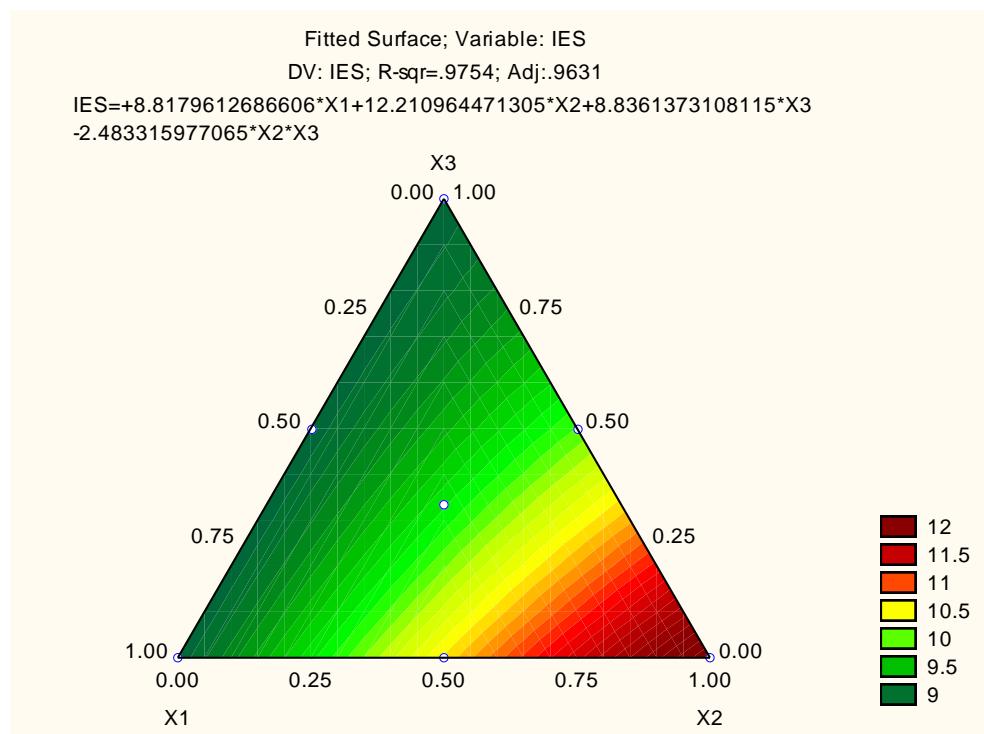


Figura 37. Superfície de resposta do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo sobre o índice de expansão radial/seccional dos extrudados.

Diversos estudos trazem como resultado a ideia de que, quanto maior o teor de fibra presente, menos crocante será o extrudado produzido (YANNIOTIS et al., 2007; LAZOU; KROKIDA, 2010).

Os valores de índice de expansão longitudinal (IEL) encontrados no tratamento variou de 0,92-1,04 (Tabela 14). Foi possível notar que nos tratamentos T2 e T4, que são os que expressaram maior expansão, são os que apresentaram menores valores para o IEL (0,92 – 0,94).

Tal análise mostrou comportamentos opostos de IER e IEL, coincidindo com os trabalhos de Carvalho et al. (2010) e Alvarez-Martinez (1988).

O parâmetro IEL foi majoritariamente influenciado (Figura 38) pelo coeficiente linear do componente C (sorgo), seguido pelo coeficiente linear de A (milho) e B (arroz) com $p > 0,05$, portanto, sendo possível a visualização da superfície de resposta (Figura 39).

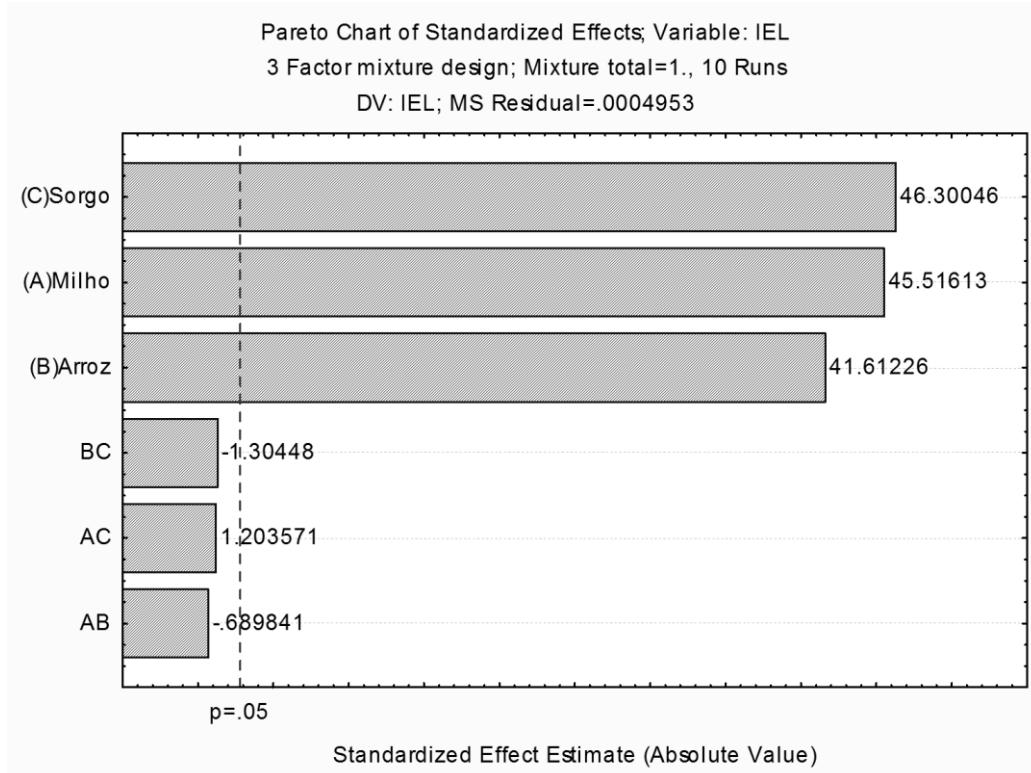


Figura 38. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o índice de expansão longitudinal dos extrudados.

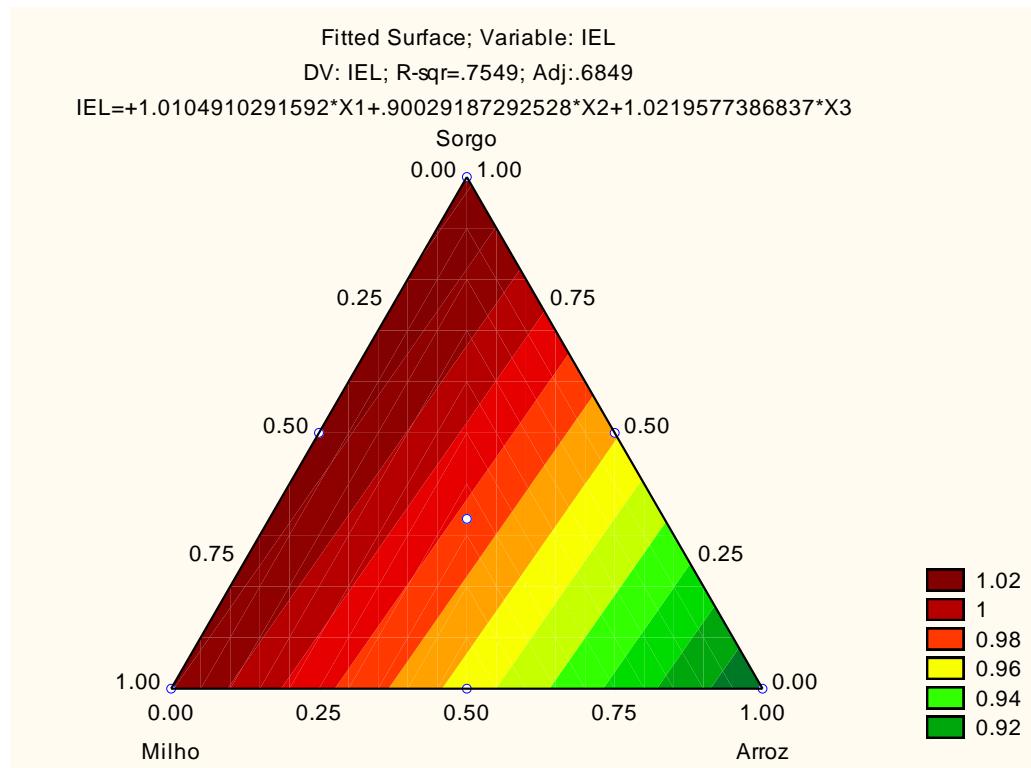


Figura 39. Superfície de resposta do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo sobre o índice de expansão longitudinal dos extrudados.

Altos valores de IEL resultam em baixos valores de IER. E, isto pode estar relacionado com as características da matéria prima, parâmetros de processamento, configuração do sistema de extrusão, fazendo com que ocorram as variações decorrentes.

Já que IEL foi influenciado pelo teor dos componentes de maior teor de fibra, como o sorgo e milho, a adição destes, contribuíram para aumentar a relação da velocidade da massa extrudada em relação da velocidade do material imediatamente ao emergir da matriz, ou seja, reduziram a expansão radial.

É possível que sorgo e milho tenham aumentado a viscosidade do fundido no interior do extrusor, o que pode ser observado pelos maiores valores de energia mecânica, mas a presença das fibras, ao inibir a expansão, contribuíram para aumentar o IEL, traduzido no aumento da velocidade do extrudado.

O IEV é o produto do IER e do IEL, e expressa a expansão total dos extrudados. Foi possível notar que T2 apresentou o maior valor de IEV (11,19), o que pode ser atribuído a menor quantidade de fibra na mistura. Em contraste, T1 apresentou menor valor de IEL (8,64), provavelmente devido ao menor teor de arroz e, consequentemente de mais alto teor de fibra, evidenciando-se uma relação inversa.

O parâmetro IEV foi majoritariamente influenciado pelo coeficiente linear do componente B (arroz), provavelmente explicado pela menor fração de fibra presente na farinha integral de arroz no tratamento, o que levou à maior expansão; seguido pelo coeficiente linear de C (sorgo) e A (milho) com $P > 0,05$, (Figura 40), sendo possível a visualização da superfície de resposta (Figura 41).

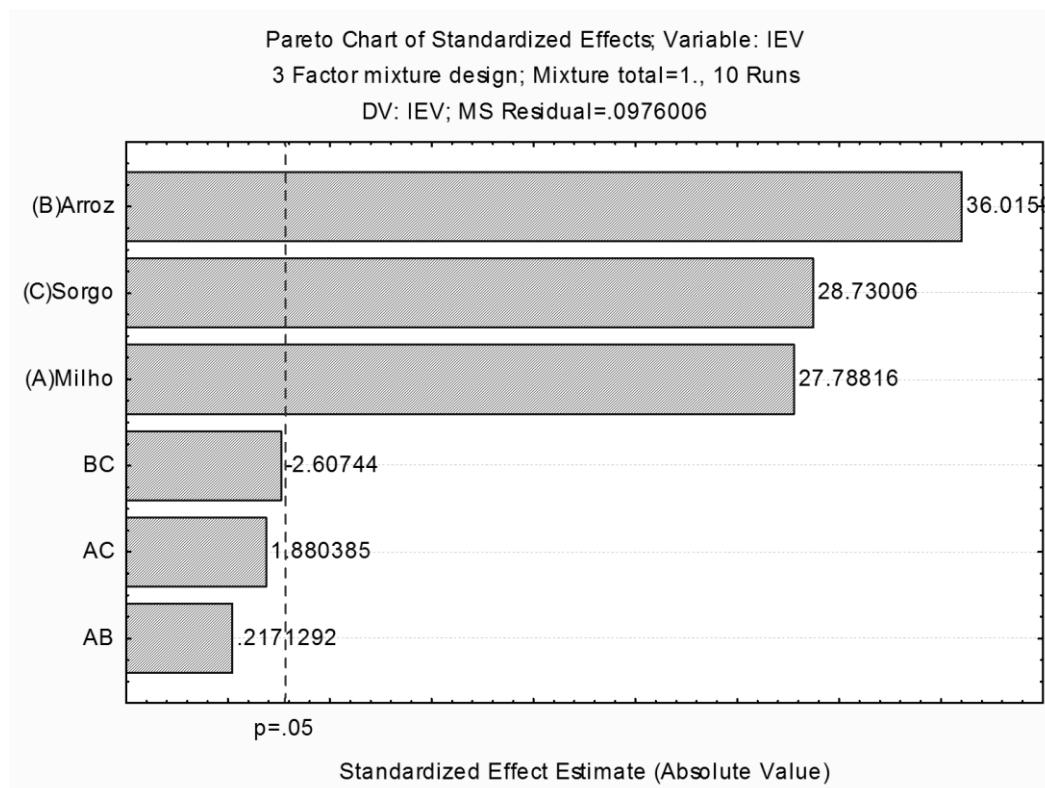


Figura 40. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o índice de expansão volumétrico dos extrudados.

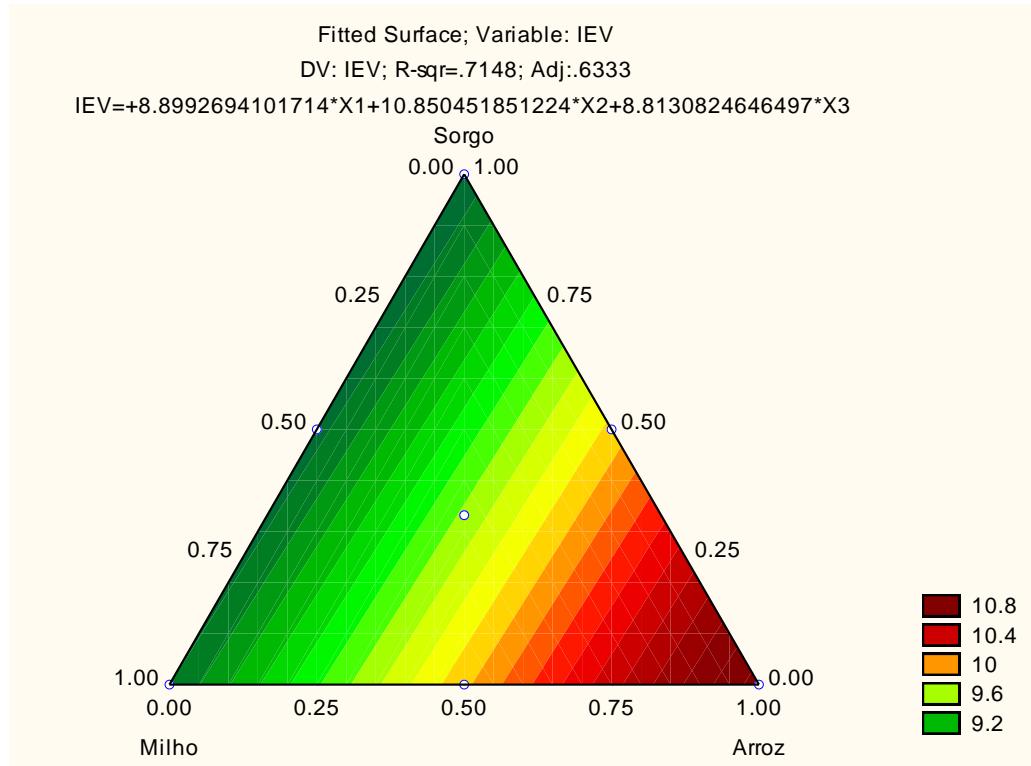


Figura 41. Superfície de resposta do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo sobre o índice de expansão longitudinal dos extrudados.

O arroz contribuiu para o valor do índice de expansão volumétrica (IEV), quanto maior a proporção de arroz no tratamento, maior o valor do IEV.

4.7 Imagem

As imagens do corte transversal dos extrudados são apresentadas na Figura 42. Nas fotografias dos expandidos das diferentes misturas, podem ser observados os graus de expansão adquiridos e estabelecer critérios apenas visuais.

Os extrudados das misturas T2 e T4 apresentaram a maior expansão radial e foram aqueles com menor adição de milho e sorgo, o que também pode ser observado, pela coloração mais clara, já que a mistura com maior teor de sorgo foi a mais escura (T3).

Pode ser observado que todos os extrudados apresentaram grandes bolhas de ar deixadas pela saída de vapor ao sair do extrusor. Não foi possível observar a redução das bolhas de ar pela adição de sorgo e milho, estes componentes com maior teor de fibra nas condições deste estudo, já que alguns trabalhos indicam que a adição de fibra pode contribuir para melhor distribuição de formação de pequenas bolhas de ar.

Um outro aspecto interessante da observação destas imagens é a variação de cor que as misturas de farinhas integrais proporcionam nos extrudados. A cor dos extrudados variaram conforme a predominância de cada cereal, por exemplo, amarela no milho, avermelhado-marrom no sorgo e branca no arroz. Desta forma, a mistura com maior de milho (T1), predominou a cor amarela, com maior teor de arroz (T2), nota-se a cor branca, com maior teor de sorgo (T3), a cor vermelha/marrom.

Apesar de não ter sido medido, pode-se observar também a espessura das células ou bolhas de ar, pois os extrudados com menor teor de fibra insolúvel, sendo o caso do arroz, as paredes aparentemente são mais finas o que refletiria em sua crocância.

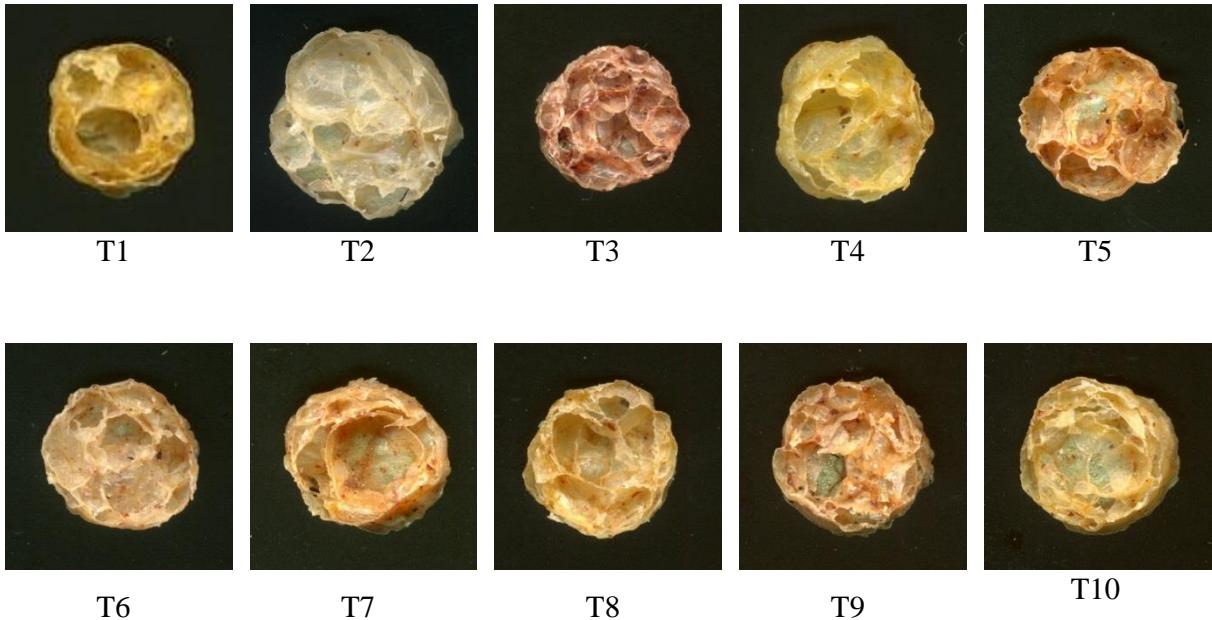


Figura 42. Imagens de expandidos feitas em scanner. Porcentagem de farinhas de cereais integrais por tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

4.8 Textura Instrumental

A textura instrumental é uma análise de qualidade do produto. Segundo Bouvier et al. (1997), a propriedade estrutural dos expandidos depende principalmente da distribuição, do tamanho e da organização das células de ar no seu interior.

As estruturas da célula de ar associada à característica de sua parede determinam as propriedades físicas, tais como, as propriedades mecânicas e acústicas, tanto quanto o perfil sensorial dos extrudados.

Essas propriedades podem ser medidas de maneira objetiva por meio de métodos instrumentais. Bouvier et al. (1997) destacou quatro critérios a serem observados na análise da crocância dos extrudados usando um analisador instrumental de textura: Força de Compressão (F_c) em N, Força Específica das Rupturas (F_{sr}) em N, Frequência das Rupturas (N_{sr}) em mm^{-1} , e Trabalho de Crocância (W_c) em N.mm. O resultado destas medidas sobre os extrudados expandidos, após secagem, está apresentado na Tabela 16.

Como pode ser observado na Tabela 16, o aumento do teor de fibras nos tratamentos, pode ter levado à redução dos valores de N_{sr} (T1: 5,19; T3: 5,36; T4: 4,68 mm^{-1}). Por outro lado, no tratamento com menor teor de fibras (T2), apresentou o maior valor de N_{sr} (5,63 mm^{-1}), permitindo inferir que o tratamento T2 (15% milho; 70% arroz; 15% sorgo) foi o mais crocante, uma vez que N_{sr} está relacionado com o número de células ou bolhas de ar perfuradas durante o teste de textura instrumental. Segundo Bouvier et al. (1997), N_{sr} pode revelar indiretamente o número de células internas por milímetros dos extrudados.

Nascimento (2010), em seu estudo a partir de produtos de milho enriquecidos com grãos e torta semi-desengordurada de gergelim por extrusão termoplástica verificou que, com o aumento do teor de gergelim e da temperatura levou a redução dos valores da frequência de ruptura (N_{sr}). Por outro lado, na ausência de gergelim foi obtido o máximo valor de N_{sr} , sendo que a adição de até 4% de grãos de gergelim em mistura com grits de milho processado 160°C levou à produção de extrudados de milho mais crocantes.

Tabela 16. Textura dos extrudados de mistura de farinhas de grãos integrais (arroz, milho e sorgo).

| Tratamentos | N_{sr} mm^{-1} | F_c N | F_{sr} N | W_c $N \cdot mm$ |
|-------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 5,19 \pm 1,40 | 2,30 \pm 1,45 | 0,05 \pm 0,03 | 0,42 \pm 0,20 |
| 2 | 5,63 \pm 0,76 | 1,96 \pm 0,84 | 0,03 \pm 0,01 | 0,34 \pm 0,13 |
| 3 | 5,36 \pm 0,86 | 2,16 \pm 0,78 | 0,05 \pm 0,02 | 0,41 \pm 0,14 |
| 4 | 4,68 \pm 1,62 | 1,72 \pm 1,16 | 0,09 \pm 0,21 | 0,35 \pm 0,19 |
| 5 | 5,63 \pm 1,27 | 2,31 \pm 0,99 | 0,04 \pm 0,02 | 0,40 \pm 0,14 |
| 6 | 5,24 \pm 1,76 | 2,34 \pm 1,32 | 0,06 \pm 0,04 | 0,43 \pm 0,17 |
| 7 | 5,44 \pm 1,23 | 1,89 \pm 0,98 | 0,04 \pm 0,02 | 0,34 \pm 0,14 |
| 8 | 5,46 \pm 1,63 | 2,27 \pm 1,35 | 0,04 \pm 0,02 | 0,41 \pm 0,21 |
| 9 | 5,60 \pm 1,05 | 2,10 \pm 1,04 | 0,04 \pm 0,02 | 0,37 \pm 0,16 |
| 10 | 5,18 \pm 1,61 | 2,18 \pm 1,11 | 0,05 \pm 0,02 | 0,40 \pm 0,15 |

N_{sr} : Frequência das Rupturas; F_c : Força de Compressão; F_{sr} : Força Específica das Rupturas; W_c : Trabalho de Crocância. Porcentagem de farinhas integrais por tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

Por meio de Pareto (Figura 43) é possível observar que frequência de ruptura (N_{sr}) dos extrudados foi majoritariamente influenciada pelo coeficiente linear do componente B (arroz), seguido pelo coeficiente linear de C (sorgo) e A (milho) com $p>0,05$. Apenas a interação dos componentes milho e arroz (AB), influenciou negativamente e de forma mínima a N_{sr} .

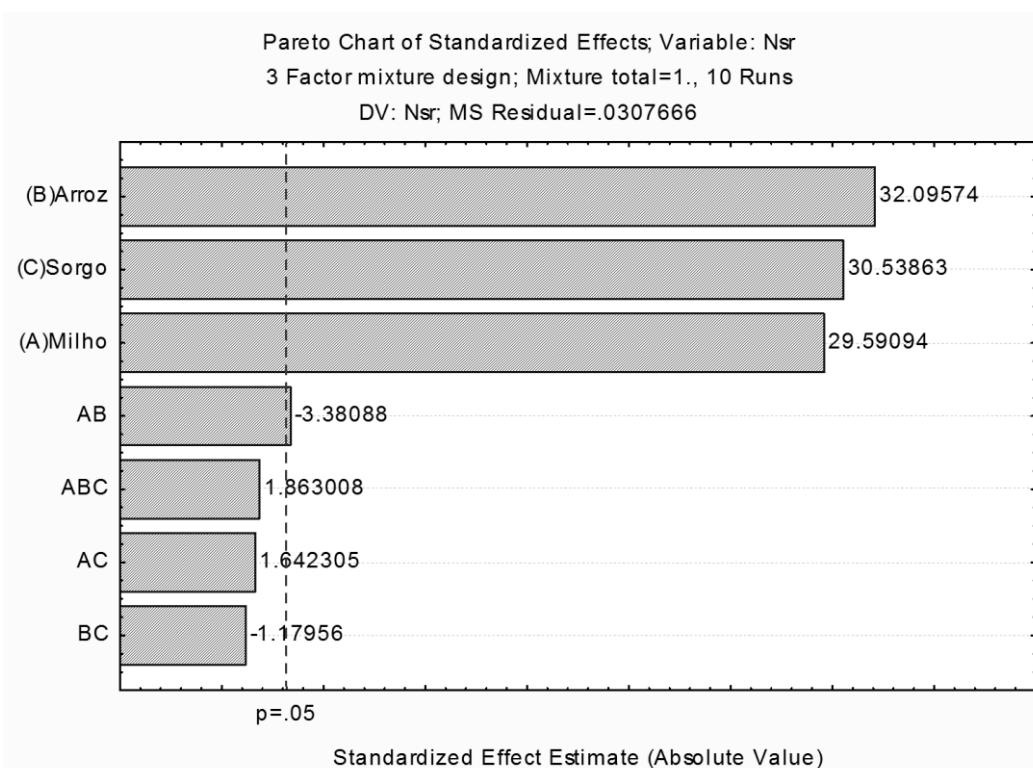


Figura 43. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre a frequência de rupturas (N_{sr}) dos extrudados.

Por meio da avaliação do diagrama de Pareto (Figura 44) é possível observar que a força de compressão (F_c) dos extrudados foi majoritariamente influenciada pelo coeficiente linear do componente A (milho), seguido pelo coeficiente linear de C (sorgo) e B (arroz) com $P>0,05$. Os componentes milho e sorgo, que possuem maior teor de fibra, influenciaram para uma maior força de compressão (F_c) nos extrudados.

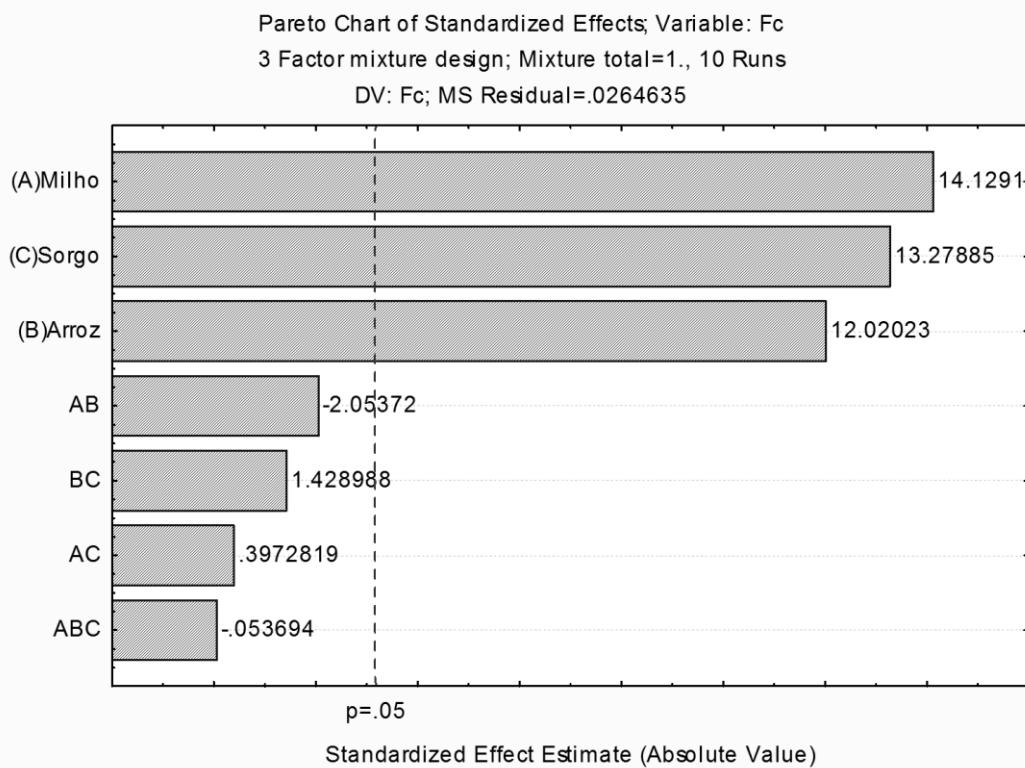


Figura 44. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre a força de compressão (F_c) dos extrudados.

Por meio da avaliação do diagrama de Pareto (Figura 45) é possível observar que a frequência espacial de ruptura (F_{sr}) dos extrudados foi majoritariamente influenciado pelo coeficiente linear do componente C (sorgo) e A (milho), seguido pelo coeficiente AB (milho e arroz); B (arroz) e ABC, com $P>0,05$, portanto sendo possível a visualização da superfície de resposta que segue (Figura 46):

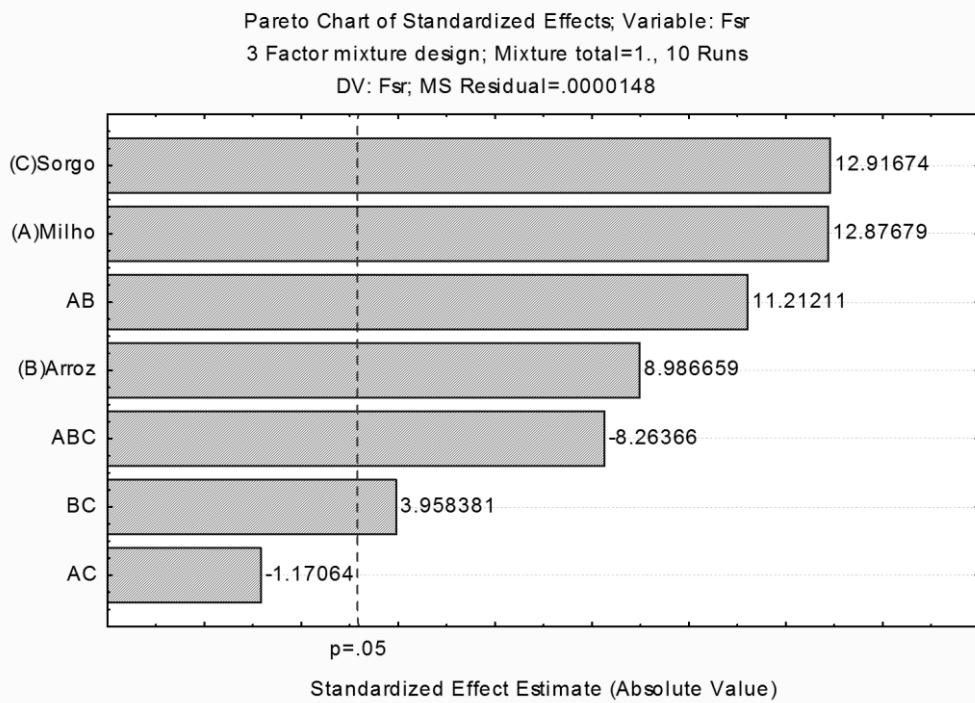


Figura 45. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre a força específica de ruptura (Fsr) dos extrudados.

Os componentes sorgo e milho, que possuem maior teor de fibra, influenciaram para uma maior força específica das rupturas (Fsr) nos extrudados.

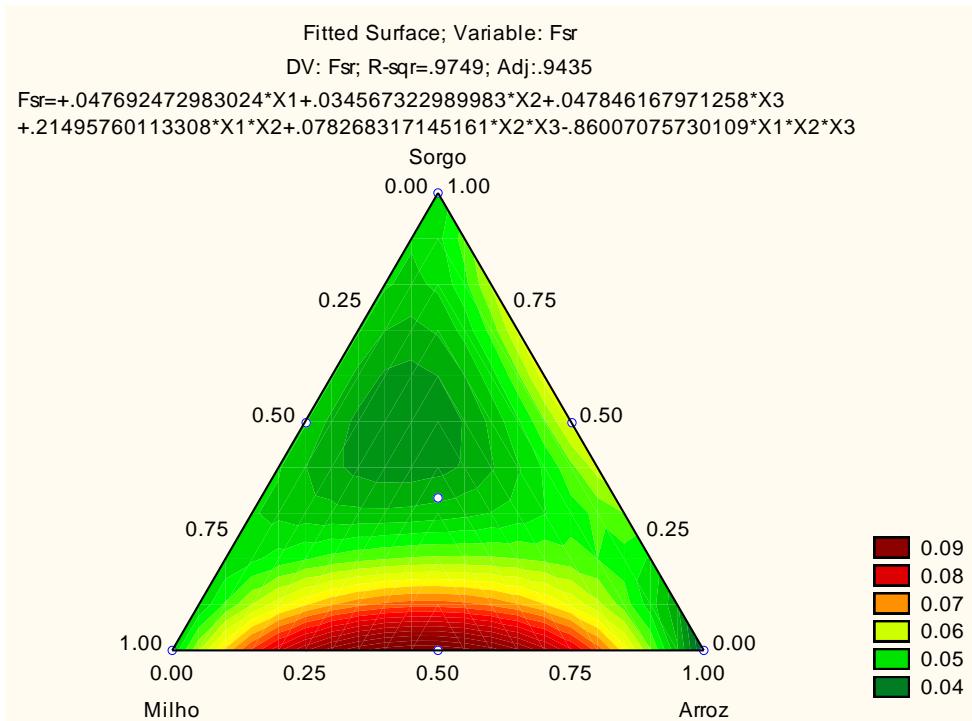


Figura 46. Superfície de resposta do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo sobre a força específica de ruptura (Fsr) dos extrudados.

Por meio do diagrama de Pareto (Figura 47) é possível observar que o parâmetro trabalho de crocância (W_c) dos extrudados também foi majoritariamente influenciado pelo coeficiente linear do componente A (milho) e C (sorgo) e A (milho), seguido pelo coeficiente B (arroz), com $P>0,05$.

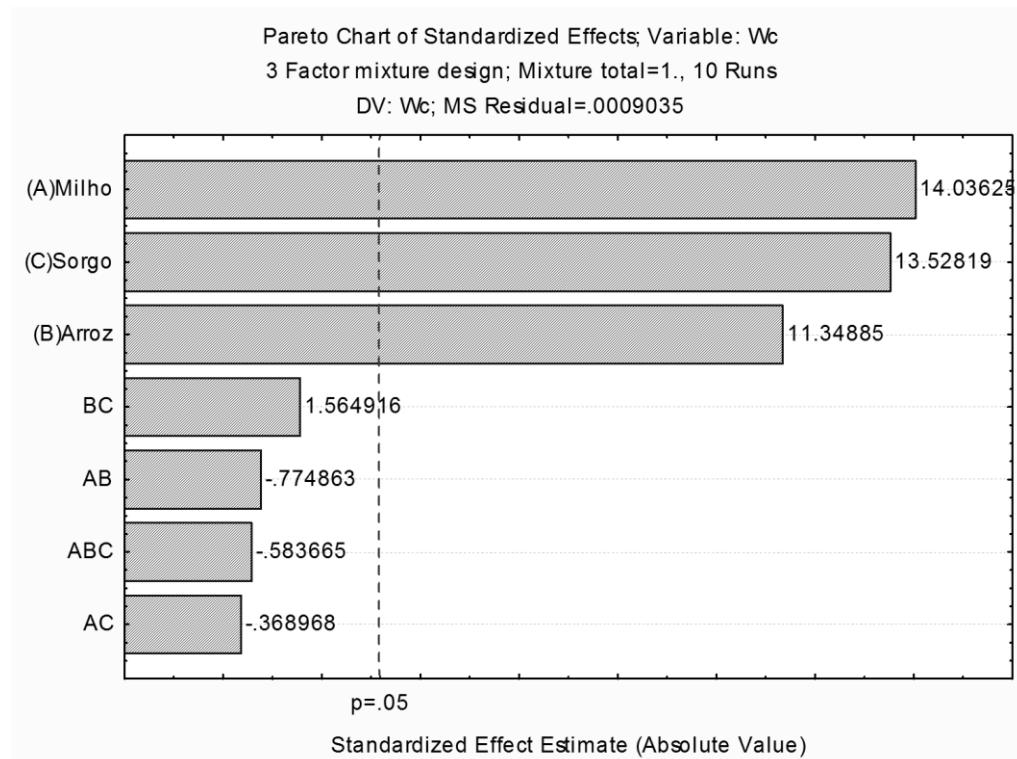


Figura 47. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o trabalho de crocância (W_c) dos extrudados.

O trabalho de crocância (W_c) dos extrudados variou de 0,34 a 0,43 N/mm. Os maiores valores de W_c foram obtidos para os extrudados com maior teor de sorgo e de milho. Isso indica que o valor para crocância tende a diminuir quando do aumento do teor de fibra na amostra.

Onwulata et al. (2001) reportaram que um incremento em fibra de cana produziu um aumento na força estrutural, consequentemente reduziu a expansão. O aumento no conteúdo de fibra ou proteína resultou em estruturas mais rígidas notadas pela maior força do texturômetro sobre a amostra analisada.

A presença de fibras também contribui na dureza dos extrudados devido ao fato de haver redução do tamanho das células, possivelmente causada pelo rompimento prematuro das bolhas de vapor de água, o que diminui a expansão e resulta em menor quantidade de poros na microestrutura (LAZOU; KROKIDA, 2010).

A força de compressão (F_c) indica a força total percorrida pelo “probe” para atravessar completamente o extrudado (BOUVIER et al., 1997). Para obtenção de extrudados mais leves ao serem consumidos, os valores de F_c devem ser preferencialmente mais baixos, já que é indicador de dureza do produto. Tal parâmetro corrobora com a ideia do T2 (1,96 N) apresentar menor dureza, visto ser o tratamento dentre os que responderam apresentaram menor valor.

4.9 Viscosidade de Pasta (RVA)

As curvas de viscosidade de pasta e as leituras das farinhas não processadas obtidas de arroz, milho e sorgo integrais estão dispostas na Figura 48 e na Tabela 17.

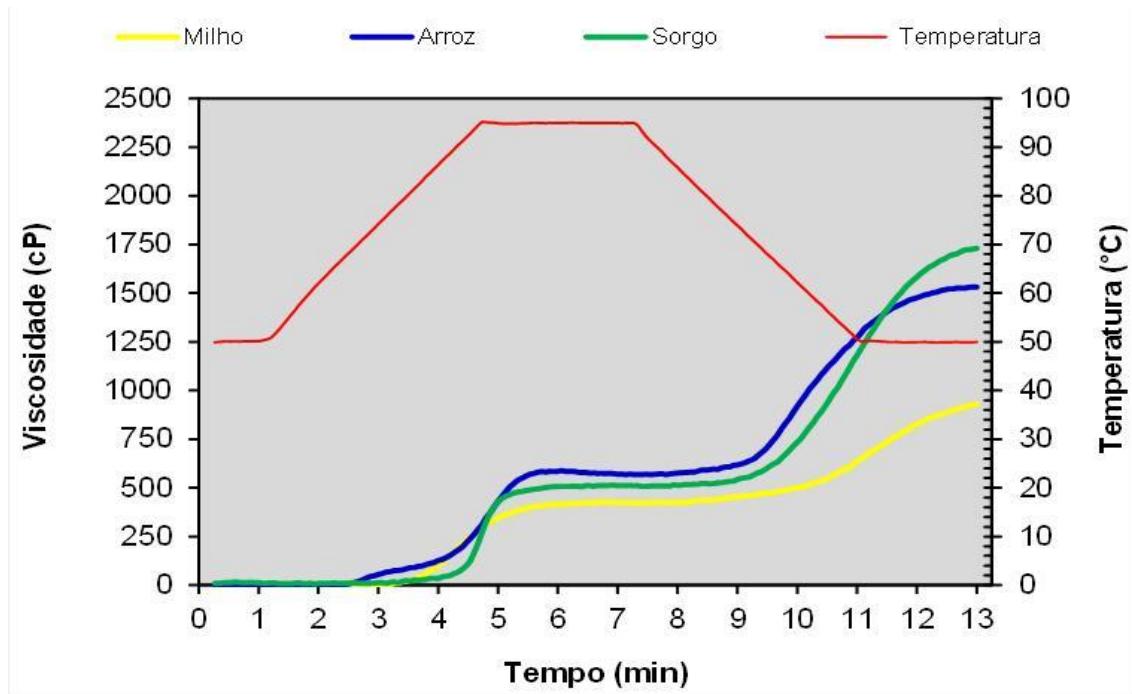


Figura 48. Perfis das curvas de viscosidade de pasta de farinha de grão de arroz, milho e sorgo.

Tabela 17. Resumo dos parâmetros de RVA para amostras cruas das farinhas de milho, arroz e sorgo.

| Amostra | VP (cP) | tP (min) | TP _i (°C) | VM (cP) | BD (cP) | VF (cP) | SB (cP) |
|---------|--------------|-------------|-------------------------|--------------|------------|---------------|------------|
| Milho | 427,5 ± 13,4 | 6,7 | 7,3 | 418,5 ± 13,4 | 9,0 | 931,5 ± 33,2 | 513,0 |
| Arroz | 588,5 ± 10,6 | 6,1 | 73,2 | 568,0 ± 5,7 | 20,5 | 1531,5 ± 12,0 | 963,5 |
| Sorgo | 514,0 ± 15,6 | 6,9 | 87,9 | 507,5 ± 16,3 | 6,5 | 1730,5 ± 17,7 | 1223,0 |

Parâmetros: VP: Viscosidade de pasta; tP: Tempo de pasta (para atingir VP); TP: Temperatura de pasta ; temperatura que corresponde quando se atinge VP); VM: Viscosidade mínima na etapa de resfriamento; BD: Breakdown (Quebra da viscosidade) = VP – VM; VF: Viscosidade final; SB: Setback (Tendência à retrogradação) = VF – VM; Unidades da Viscosidade: cP (centipoises).

Observou-se que a amostra do grão de arroz apresentou a maior viscosidade a frio (Figura 48). Isso é indicativo que esta amostra apresenta maior teor de amido. Já a amostra de milho, cuja composição destacou-se pela presença de maior teor de fibra alimentar e proteínas, esta apresentou menor valor de VF, indicando menor teor da fração de amido capaz de gelificar no final da corrida de RVA.

O sorgo apresentou maior tendência à retrogradação (1223 cP), o que pode ser atribuído ao maior teor de amilose neste cereal, dado que na etapa de resfriamento da análise de viscosidade de pasta, as moléculas de amilose recristalizam e aumentam a viscosidade, fenômeno conhecido como retrogradação (VARGAS-SOLÓRZANO, 2013). No entanto, o teor de amilose das matérias primas não foi determinado neste trabalho.

As farinhas extrudadas foram analisadas quanto a viscosidade de pasta e as curvas podem ser visualizadas na Figura 49. Os resultados experimentais referentes aos parâmetros de Viscosidade de pasta (VP) ou máxima (VM); Tempo de formação de pasta (tP); Temperatura de pasta inicial (TP), que corresponde à temperatura onde há aumento de viscosidade no aquecimento; Viscosidade mínima na etapa de resfriamento (VM); Breakdown (BD) referente à quebra da viscosidade, a qual corresponde a diferença entre VP e VM; Viscosidade final (VF); Setback (SB), que expressa a Tendência à retrogradação, ou seja, VF – VM. Os referidos parâmetros estão expostos na Tabela 18.

Observou-se que a amostra com maior teor de arroz (T2) apresentou a maior viscosidade a frio (VP) e consequente maior viscosidade no final da corrida (VF). Isso é indicativo que esta amostra apresenta maior teor de amido, já a amostra com maior teor de sorgo, cuja composição destaca-se pela presença de maior teor de fibra alimentar e proteínas, apresentou-se com menor VF. Logo, menor quantidade de amido.

Os valores de viscosidade a frio variaram entre 409 cP (T1) e 609 cP (T2) (Tabela 18). Os resultados experimentais referentes aos parâmetros de Viscosidade de pasta à frio (VP) revelaram que o tratamento T2 mostrou maior valor (609 cP), enquanto que T1 apresentou menor valor (409,5 cP). Normalmente, maiores resultados de viscosidade de pasta a frio estão relacionados com maior expansão e maior cisalhamento, o que estariam associados à formulação com maior teor de arroz na mistura.

Quanto ao tempo de pasta para atingir a viscosidade inicial (tP), T1 e T6 atingiram tal viscosidade em menos tempo (1,5 e 1,2 min respectivamente).

Nota-se nas curvas que todas as curvas apresentaram semelhante formato (Figura 49). No entanto, T1 mostrou-se ligeiramente diferente dos demais por apresentar reduzida viscosidade à frio, o que poderia ser atribuído ao maior teor de fibra associado ao menor teor de amido (não determinado). Os tratamentos contendo menor fração de fibra apresentaram viscosidades à frio mais altas, os quais foram T2, T4 e T6. A maior viscosidade de quebra foi observada no T2 com 530,5 cP e a menor no T1 com um valor de 340 cP. Isto se deve ao fato de que os tratamentos com maior teor de fibras possuem baixos níveis de viscosidade conforme o conteúdo de fibras nas misturas. Provavelmente, o alto teor de fibra na mistura leve à possível ocorrência de rompimento de ligações de hidrogênio existentes (NASCIMENTO et al., 2012).

Similar resultado também fora observado no clássico trabalho de El-Dash et al. (1982) para extrudados expandidos de milho. Estes autores relataram que ao aumentar a temperatura durante a extrusão, maior foi a viscosidade de pasta a frio. O conteúdo de fibras na composição da matéria-prima afetou a viscosidade de forma inversa, ou seja, quanto mais fibras continha o tratamento, menor foi viscosidade de pasta a frio. Estando a fibra em menor valor no tratamento, T2, nota-se uma redução do efeito de quebra molecular da fração amilácea.

Valores altos da viscosidade à frio (25°C), podem ser vistos nos T2, T4, T6 e T9. Estes resultados podem indicar a ocorrência de altos graus de cisalhamento durante a extrusão, obtendo-se como consequência, elevada quebra da fração amilácea e protéica, quando maior quantidade de sítios hidrofilicos a partir das moléculas do amido é exposta e rompida, formando-se assim uma rede tridimensional na temperatura ambiente (CARVALHO et al., 2010).

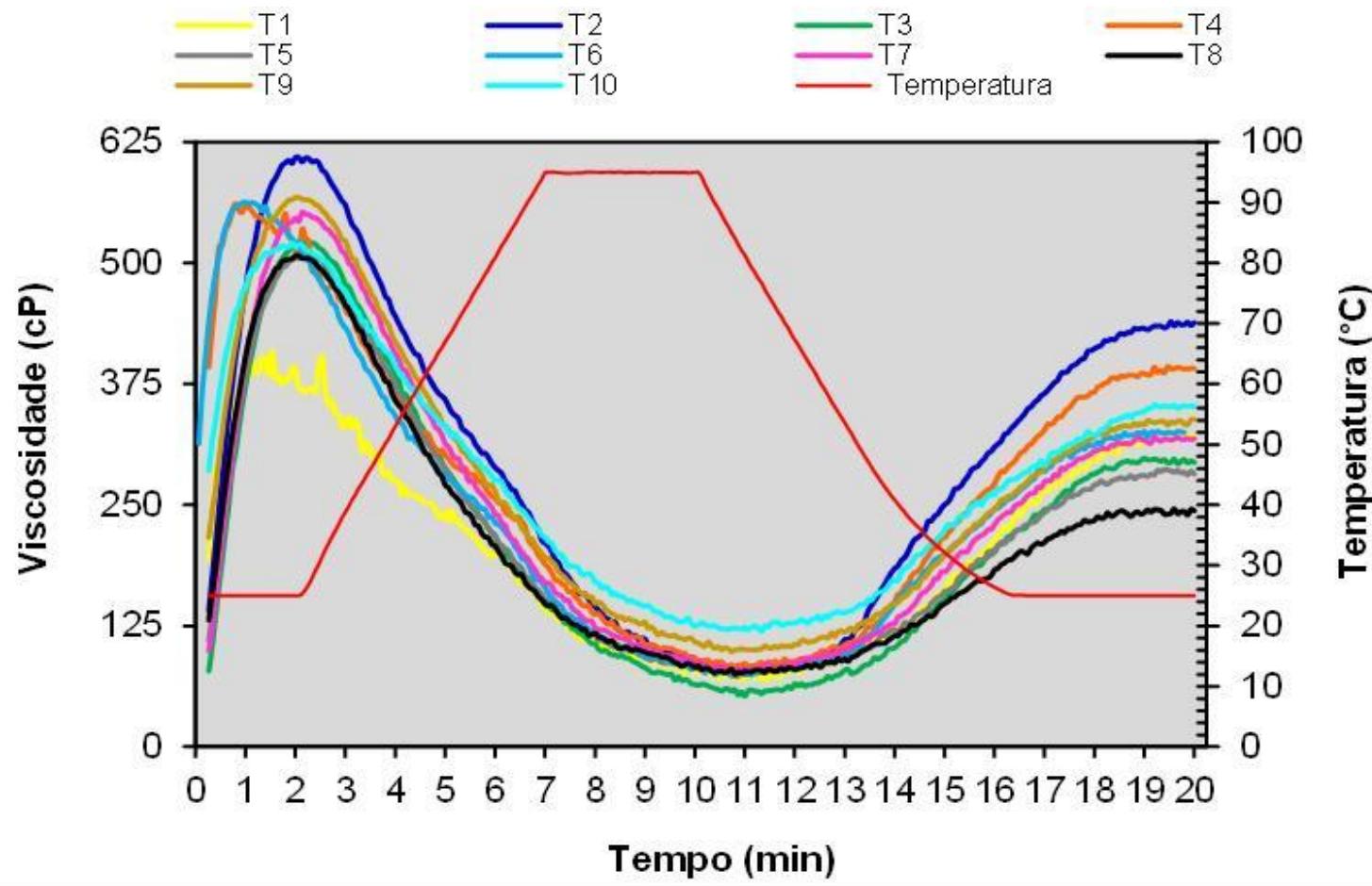


Figura 49. Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos extrudados de misturas de farinhas de arroz, milho e sorgo. Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

Tabela 18. Parâmetros de RVA para amostras extrudadas.

| Amostra | VP (cP) | tP (min) | TP (°C) | VM (cP) | BD (cP) | VF (cP) | SB (cP) |
|----------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| T1 | 409,5 \pm 0,7 | 1,5 | 24,9 | 69,5 \pm 2,1 | 340,0 | 321,5 \pm 2,1 | 252,0 |
| T2 | 609,0 \pm 0,0 | 2,0 | 24,9 | 78,5 \pm 2,1 | 530,5 | 438,5 \pm 3,5 | 360,0 |
| T3 | 521,0 \pm 14,1 | 2,2 | 26,0 | 52,5 \pm 7,8 | 468,5 | 294,0 \pm 8,5 | 241,5 |
| T4 | 561,5 \pm 9,2 | 0,8 | 25,1 | 81,5 \pm 3,5 | 480,0 | 391,0 \pm 9,9 | 309,5 |
| T5 | 508,5 \pm 6,4 | 2,2 | 25,9 | 73,0 \pm 2,8 | 435,5 | 282,0 \pm 2,8 | 209,0 |
| T6 | 563,0 \pm 12,7 | 1,2 | 25,0 | 74,0 \pm 2,8 | 489,0 | 325,0 \pm 2,8 | 251,0 |
| T7 | 552,5 \pm 2,1 | 2,1 | 25,3 | 78,0 \pm 1,4 | 474,5 | 318,5 \pm 2,1 | 240,5 |
| T8 | 507,5 \pm 12,0 | 2,0 | 25,0 | 75,0 \pm 7,1 | 432,5 | 244,0 \pm 7,1 | 169,0 |
| T9 | 568,0 \pm 5,7 | 2,1 | 24,9 | 98,5 \pm 7,8 | 469,5 | 338,5 \pm 4,9 | 240,0 |
| T10 | 521,0 \pm 14,1 | 1,9 | 24,9 | 119,5 \pm 20,5 | 401,5 | 352,0 \pm 24,0 | 232,5 |

Parâmetros: VP: Viscosidade de pasta; tP: Tempo de pasta (para atingir VP); TP: Temperatura de pasta ; temperatura que corresponde quando se atinge VP); VM: Viscosidade mínima na etapa de resfriamento; BD: Breakdown (Quebra da viscosidade) = VP – VM; VF: Viscosidade final; SB: Setback (Tendência à retrogradação) = VF – VM. Porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%). Tabela resumo da média, DP do teste de Tukey.

Como visto, a viscosidade inicial a 25°C, também chamada de viscosidade de pasta a frio, indica a capacidade das farinhas em absorver água à temperatura ambiente e formar gel ou líquido viscoso. Já a viscosidade a quente (95°C) está diretamente relacionada com o nível de degradação sofrido pelo grânulo de amido durante o processo de extrusão. Quando a estrutura do grânulo é destruída, ele perde sua capacidade de inchar quando aquecido em água e, consequentemente, apresenta baixa viscosidade a quente (CARVALHO et al., 2002). Logo, se os tratamentos não são tão severos, determinada porcentagem de grânulos de amido pode ter conservado parte da estrutura amilácea.

Segundo Menegassi et al. (2007), os valores de viscosidade inicial se elevam com a prévia gelatinização da amostra e decrescem em condições severas de processamento em razão da despolimerização do amido com a cocção.

A gelatinização, por sua vez, é definida como sendo a combinação da fusão da porção cristalina do grânulo de amido e da transição vítreia da porção amorfa, em presença de calor numa suspensão aquosa, e da agitação mecânica empregada. Inicialmente, o intumescimento é reversível, tornando-se irreversível conforme o aumento da temperatura que rompe as ligações de hidrogênio e permite a incorporação de água pelo amido. Tal incorporação aumenta a separação das cadeias, diminuindo o numero e o tamanho das regiões cristalinas bem como a perda da birrefringência (THIRÉ et al., 2004; SILVA et al., 2009). Quando a pasta quente é resfriada, o incremento na viscosidade é influenciado pela tendência a associação das moléculas do amido.

Nas farinhas extrudadas, o amido está gelatinizado, e torna possível a rápida hidratação dos grânulos a temperatura ambiente, sendo importante em produtos em que se deseja maior viscosidade a frio. No caso de tratamentos de extrusão pouco severos, determinada porcentagem de grânulos de amido pode conservar parte da estrutura amilácea, apresentando um pico no perfil amilográfico, que significa amido não gelatinizado ou parcialmente gelatinizado (GUHA et al., 1997).

Pesquisas realizadas por El-Said et al. (1979), constataram ainda que o conteúdo de proteína é negativamente correlacionado com a viscosidade máxima. A proteína pode atuar como uma barreira física para o intumescimento do amido, uma vez que os grânulos de amido são encaixados na matriz de proteína. Dessa forma, observa-se que, mistura contendo maiores teores de proteína presente nas farinhas integrais, resulta em menor pico de viscosidade.

A viscosidade final (VF) mostra as modificações que ocorrem nas estruturas do grânulo de amido e das moléculas durante o processamento. A viscosidade final das misturas extrudadas variou de 244 cP a 438 cP (Tabela 18). Considerando a variação observada, a análise mostrou, terem ocorrido efeitos variados na viscosidade, ensejada, possivelmente, pelos diferentes teores de fibra dos tratamentos (Tabela 10).

Maiores viscosidades finais são obtidas nas condições de menores porcentagens de fibras dos cereais integrais nas misturas (T2: 438 cP; T4: 391 cP; T6: 325 cP; e T10: 352 cP), evidenciando a influência do teor de fibras sobre as propriedades de pasta antes e após a extrusão (Tabela 10).

Pode-se observar também, que os tratamentos tiveram pouco incremento da viscosidade na etapa final do resfriamento. A quantidade de amido parcialmente danificado presente nas matérias foi responsável pela consistência da pasta final, desenvolvida na etapa final da análise de RVA (AL-RABADI et al., 2011b).

A leitura das curvas do perfil de viscosidade referente ao *breakdown* (BD), ou quebra de viscosidade, expressou a diferença entre o valor correspondente ao pico máximo de viscosidade no regime de aquecimento e o valor de viscosidade mínima no ciclo de resfriamento. O resultado desta leitura mostra o potencial das forças de manutenção da integridade dos grânulos de amido. A quebra da viscosidade das misturas extrudadas variou de 340 a 530 cP.

Por fim, outra importante leitura é o *setback*, também conhecido como viscosidade de retrogradação, é a diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima no resfriamento. Este resultado mostrou a interação das forças de rearranjo molecular essencialmente observado nas moléculas de amilose. Em produtos extrudados, esse valor irá depender das modificações que ocorreram nas estruturas do grânulo e das moléculas de amido (DING et al., 2005). Os valores da tendência a retrogradação (TR) dos produtos extrudados variaram de 360 a 169 cP (Tabela 18).

A retrogradação do amido ocorre por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, decorrente do agrupamento das partes lineares das moléculas de amido através da formação de novas ligações de hidrogênio. Tal agrupamento pode ensejar a formação de precipitados e/ou géis (GUTKOSKI, 2000).

A tendência a retrogradação foi menor nas condições de maiores porcentagens de fibras na mistura, T1, T3 e T5 (Tabela 10), e isto pode ser explicado pela ação bloqueadora da fibra na absorção de água das moléculas oriundas do rompimento dos grânulos de amido.

Hibi (1994) constatou que a formação de um complexo helicoidal insolúvel entre amilose e lipídio resultou em um retardamento da lixiviação da amilose dos grânulos e consequentemente, uma menor retrogradação. Acredita-se, portanto, que a diminuição no teor de amido (especialmente no de amilose) e/ou aumento no conteúdo de lipídio tenha contribuído para o decréscimo da retrogradação (em T1, T3 e T5).

4.10 Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção de Água (IAA)

As propriedades de hidratação desempenham um papel importante nas interações proteína-água e carboidrato-água. O índice de absorção de água (IAA) é utilizado para medir o grau de modificação do amido, desnaturação de proteínas e formação de complexos macromoleculares (DOGAN; KARWE, 2003).

Já o índice de solubilidade em água (ISA) representa a quantidade de polissacarídeos solúveis libertados das estruturas granulares em excesso de água (AL-RABADI et al., 2011a).

Como parâmetro, o Índice de Solubilidade (ISA) reflete o grau de degradação do grânulo de amido. O aumento da solubilidade verificado em produtos extrudados é atribuído à dispersão das moléculas de amilose e amilopectina como consequência desta quebra, quando as condições são mais brandas, e da formação de compostos de menor massa molar, quando as condições são mais drásticas (SILVA, 2009).

Os resultados do IAA e ISA para as matérias primas e tratamentos, são apresentados na Tabela 19.

É sabido também, que a solubilidade em água do amido está relacionada com o processo de expansão dos extrudados, e segue as mesmas variações com as condições de extração. E ainda, segundo Chang e El-Dash (2003), dependendo da matéria-prima, o ISA aumenta com a severidade do tratamento e com o decréscimo da umidade de processamento.

De acordo com Alvin et al. (2002), o IAA está relacionado à capacidade de absorção e retenção de água pelos constituintes da matéria-prima. O amido modificado pela extrusão tem o seu balanço hidrofilico/hidrofóbico alterado, podendo contribuir para o aumento ou a diminuição do IAA (MAIA et al., 1999).

As amostras cruas de arroz, sorgo e milho apresentaram variação para IAA de 2,33 a 2,78, e as farinhas extrudadas entre 5,69 a 6,55. As farinhas cruas mostraram valores mais baixos do que os encontrados para os produtos extrudados (Tabelas 19). O que evidencia a atuação do processo de extrusão sobre os grânulos de amido expondo sítios hidrofilicos que contribuíram para o aumento da capacidade das moléculas de amido em se associarem com a água.

Quanto aos valores de ISA, estes variaram de 4,62 e 6,20 nas farinhas cruas de cereais integrais (Tabela 19). As farinhas cruas de milho e sorgo obtiveram os maiores valores de ISA, o que pode indicar a presença de moléculas hidrossolúveis de carboidratos, como seria o caso das fibras solúveis (hemiceluloses), em menor teor na farinha de arroz como constatado na determinação da composição química.

Tabela 19. Índices de solubilidade (ISA) e absorção em água (IAA) das farinha integrais cruas e misturas processadas de arroz, milho e sorgo por extrusão

| Amostra | ISA | IAA |
|--------------|--------------|-------------|
| Milho | 6,20 ± 0,06 | 2,72 ± 0,02 |
| Arroz | 2,85 ± 0,03 | 2,33 ± 0,06 |
| Sorgo | 4,62 ± 0,40 | 2,78 ± 0,04 |
| T1 | 18,40 ± 0,46 | 6,44 ± 0,14 |
| T2 | 15,99 ± 0,77 | 6,31 ± 0,31 |
| T3 | 21,12 ± 0,13 | 6,31 ± 0,02 |
| T4 | 19,74 ± 0,95 | 6,14 ± 0,19 |
| T5 | 20,27 ± 0,01 | 5,85 ± 0,10 |
| T6 | 20,53 ± 1,75 | 6,38 ± 0,04 |
| T7 | 12,90 ± 0,17 | 5,78 ± 0,08 |
| T8 | 22,37 ± 0,65 | 6,55 ± 0,10 |
| T9 | 18,49 ± 0,76 | 6,48 ± 0,04 |
| T10 | 10,88 ± 0,98 | 5,69 ± 0,04 |

Porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

Tabela resumo da média, DP do teste de Tukey.

O tratamento T3 apresentou maior valor de ISA (21,12). Este tratamento possui maior fração de sorgo, o qual teve maior influência nesta variável resposta, observado no diagrama de Pareto (Figura 50), o qual permite a observação da significância estatística dos coeficientes de regressão pelo Teste t de Student, a um intervalo de confiança de 0,95. Este resultado pode ser associado à leitura de viscosidade de pasta, pois de acordo com o resultado de viscosidade de pasta (RVA) desta mistura com maior teor de sorgo, este também apresentou alto valor de viscosidade de retrogradação, atribuído a um possível maior teor de amilose lixiviada, contribuindo para um maior teor de sólidos solúveis (VARGAS-SOLÓRZANO, 2013).

Outra possível explicação para o mais alto teor de ISA presente nos tratamentos com sorgo e milho, seria a presença de materiais solúveis das fibras, constituídos principalmente de substâncias pécticas e hemiceluloses, observado no trabalho de Larrea et al. (2005). Estes autores verificaram ainda que o processo de extrusão aumentou a concentração dos componentes solúveis da fibra (xilose, galactose e ácido urônico), levando ao aumento dos valores de ISA.

Para as farinhas que apresentaram menores valores de IAA e maiores valores de ISA, a fração amilácea teria sofrido extensiva conversão como observado no trabalho de Sriburi et al. (1999). Assim como ocorre com o rompimento dos grânulos de amido, durante o processo de extrusão, as moléculas de proteínas são modificadas, tanto pelo efeito do calor quanto pelo cisalhamento mecânico.

O calor provoca desnaturação e agregação de proteínas, enquanto o cisalhamento mecânico causa dissociação/despolimerização (FANG et al., 2013).

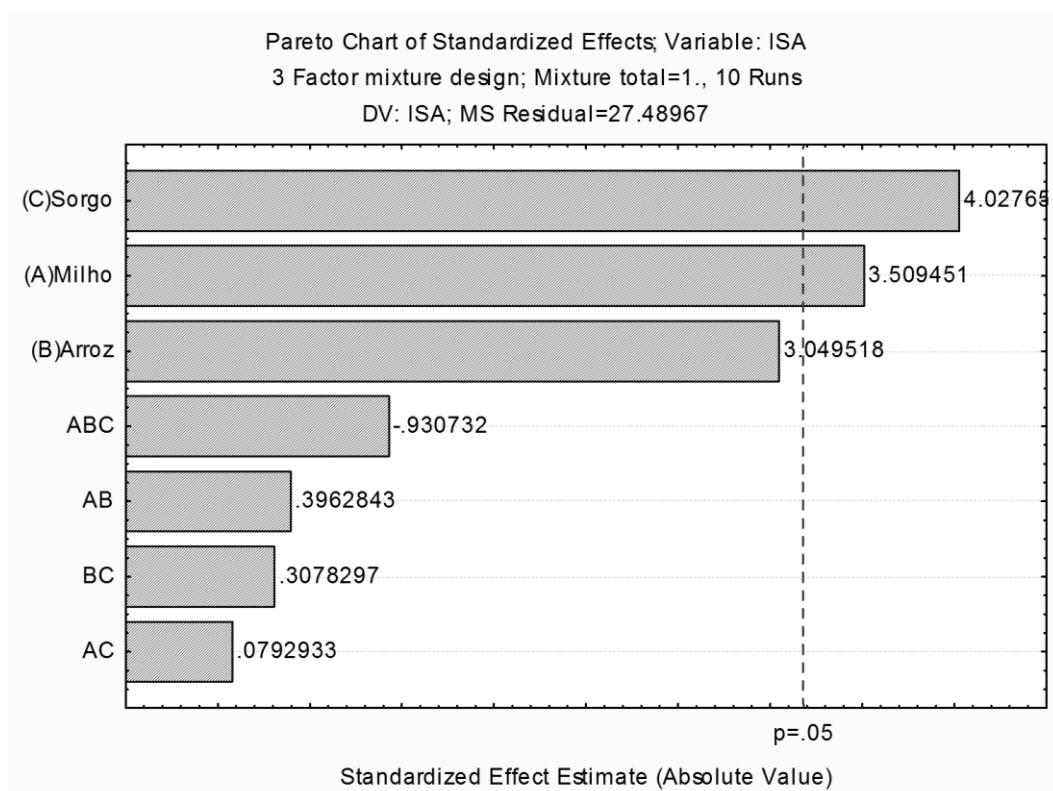


Figura 50. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o índice de solubilidade em água (ISA) dos extrudados.

O parâmetro ISA foi majoritariamente influenciado pelo coeficiente linear do componente C (sorgo), seguido pelo coeficiente linear do milho A ($P>0,05$), como pode ser observado na Figura 50.

Já o parâmetro IAA foi influenciado pelo coeficiente linear do componente A (milho), seguido pelo coeficiente linear de C (sorgo) e B (arroz) como pode ser observado na Figura 51. Tal resultado pode estar associado à presença de proteína, particularmente em maior concentração no sorgo, pelo efeito da extrusão causando alterações como a diminuição na superfície da molécula de proteína e a disponibilidade de grupos polares para fixar água.

Por outro lado, em proteínas de estrutura muito compacta, como ocorre também no milho, a dissociação e clivagem das moléculas devido à extrusão, pode causar exposição das ligações peptídicas e das cadeias laterais polares anteriormente inativas, atingem a superfície proteica, melhorando as propriedades de hidratação (CHEFTEL et al., 1989).

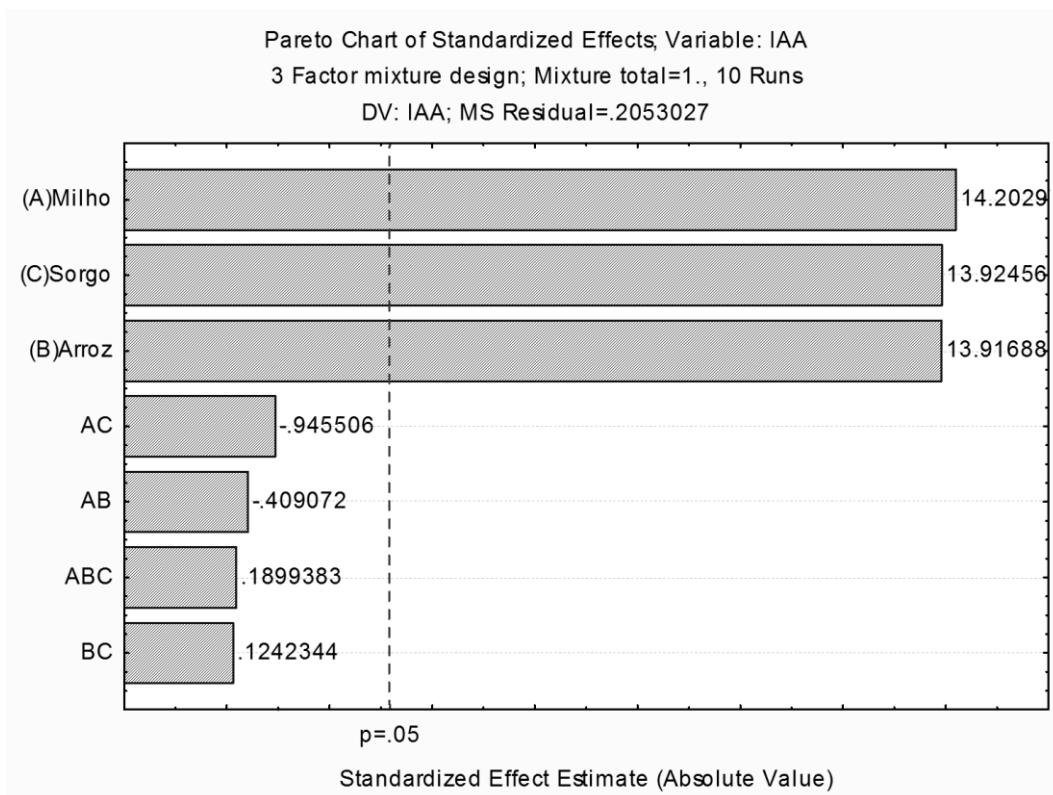


Figura 51. Diagrama de pareto do efeito da extrusão de misturas de cereais integrais de arroz, milho e sorgo, em ordem de significância, sobre o índice de absorção de água (IAA) dos extrudados.

5 CONCLUSÕES

Por meio deste estudo, foi possível avaliar e entender o comportamento de misturas de farinhas de multicereais integrais à base de grãos de arroz, milho e sorgo em um extrusor de parafuso único de laboratório, na elaboração de expandidos diretos. Isso permitiu as seguintes conclusões:

A composição centesimal de cada uma das farinhas integrais utilizadas, arroz, milho e sorgo, nas misturas teve papel preponderante na qualidade funcional dos extrudados expandidos. Apesar do efeito das misturas na qualidade dos extrudados, foi possível processar todas as misturas que podem ser usadas na elaboração de produtos com potencial de contribuir para o benefício da saúde humana, sendo inclusive uma possível opção para doentes celíacos e/ou com restrição alimentar do uso de glúten.

É possível recomendar os tratamentos T2 (15% milho; 70% arroz; 15% sorgo) e T4 (42,5% milho; 42,5% arroz; 15% sorgo), para elaboração de extudados expandidos, pois foram aqueles que apresentaram melhores características de qualidade, como alta expansão e melhor textura (crocância).

O emprego do delineamento de mistura foi visto como interessante ferramenta na comparação das três fontes de cereais integrais, para obtenção de extrudados com características distintas.

As variações entre os tratamentos foram principalmente atribuídas à composição centesimal, em particular, o teor de fibra alimentar de cada amostra. Assim sendo, o teor de fibra foi inversamente proporcional à expansão. As misturas com maior teor de arroz integral (tratamentos T2 e T4) foram aquelas que apresentaram maior expansão radial, o que foi atribuído ao menor teor de fibra presente na farinha de arroz.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACELBRA - Associação Brasileira de Celíacos. Disponível em: <<http://www.acelbra.com.br>>. Acesso em: 05 dezembro 2013.

ALI, N. M. M.; TINAY, A. H.; ELKHALIFA, A. E. O.; SALIH, O. A.; YOUSIF, N. E. Effect of alkaline pretreatment and cooking on protein fractions of a high-tannin sorghum cultivar. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 646-648, 2009.

ALI, Y.; HANNA, M. A.; CHINNASWAMY, R. Expansion characteristics of extruded corn grits. **Food Science and Technology-Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 29, p. 702-707, 1996.

AL-RABADI, G. J.; TORLEY, P. J.; WILLIAMS, B. A.; BRYDEN, W. L.; GIDLEY, M. J. Particle size of milled barley and sorghum and physico-chemical properties of grain following extrusion. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 4, p. 464-472, 2011b.

AL-RABADI, G. J.; TORLEY, P. J.; WILLIAMS, B. A.; BRYDEN, W. L.; GIDLEY, M. J. Effect of extrusion temperature and pre-extrusion particle size on starch digestion kinetics in barley and sorghum grain extrudates. **Animal Feed Science and Technology**, v. 168, n. 3-4, p. 267-279, 2011b.

ALVIM, I. D.; SGARBIERI, V. C.; CHANG, Y. K. Development of extruded mixed flours based on corn flour, yeast derivates and casein. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 2, p. 170-176, 2002.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved methods of AACC**. 9^a ed. Método 44- 15A, St. Paul, 1995.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved methods of AACC**. St. Paul, 1975.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved methods of AACC**. 9^a ed. Método 44- 15A, St. Paul, 2000.

ANTILLA, H.; SONTAG-STROHM, T.; SALOVAARA, H. Viscosity of beta-glucan in oat products. **Agricultural and Food Science**, v. 13, p. 80-87, 2004.

ANTON, A. A.; GARY FULCHER, R.; ARNTFIELD, S. D. Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded *snacks* with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 989-996, 2009.

ANVISA 2003, Resolução - RDC nº 360, de 23 de Novembro de 2003 Regulamento Técnico sobre **Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados**, Disponível em: <<http://elegis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct?id=9059>>. Acesso em: 16/01/15.

ANVISA. AGENCIA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITARIA. 2005. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/legis/index.htm>>. Acesso em: 19 de Janeiro de 2015.

ARAÚJO, H. M. C.; ARAUJO, W. M. C.; BOTELHO, R. B. A.; ZANDONADI, R. P. Doença celíaca, hábitos e práticas alimentares e qualidade de vida. **Revista de Nutrição**, v. 23, n. 3, p. 467-474, 2010.

ASCHERI, D. P. R.; ANDRADE, C. T.; CARVALHO, C. W.P.; ASCHERI, J. L. R. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim do Ceppa**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 115-144, 2006.

ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jabuticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, dec. 2006.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P.; Apostila de extrusão de Alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de Alimentos para o consumo Humano, **EMBRAPA CTAA**, 2008.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**, 16th ed. Arlington: Washington, 2005.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Approved Methods of the American Association of Official Analytical Chemists**, 18th ed, 3th rev. Gaithersburg: USA, 2010.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghumphytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199–1221, 2004.

AZEVEDO E. C. C.; DIAS F. M. R. S.; DINIZ A. S.; CABRAL P. C. Consumo alimentar de risco e proteção para as doenças crônicas não transmissíveis e sua associação com a gordura corporal: um estudo com funcionários da área de saúde de uma universidade pública de Recife (PE), Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 19, n. 5, p. 1613-1622, 2014.

BATRA, J.; SETH, P. Effect of iron deficiency on developing rat brain. Indian **Journal of Clinical Biochemistry**, v. 17, n. 2, p. 108-114, 2002.

BECKER, A.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. MILLING. A further parameter affecting the rapid visco analyser (RVA) profile. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 2, p. 166-172, 2001.

BEHALL K. M., SCHOFIELD D. J., HALLFRISCH J. Whole-grain diets reduce blood pressure in mildly hypercholesterolemic men and women. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 106, n. 9, p. 1445-9, set. 2006.

BERGLUND, P. T.; FASTNAUGHT, C. E.; HOLM, E. T. Physicochemical and sensory evaluation of extruded high-fiber barley cereals. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 1, p. 91-95, 1994.

BERK, Z. Food process engineering and technology. **Academic Press**, New York, 2009. 333-350 p.

BERNAUD F. S. R.; RODRIGUES T. C. Fibra alimentar – Ingestão adequada e efeitos sobre a saúde do metabolismo. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 57, n. 6, p. 397-405, 2013.

BERRIOS, J. D. J.; MORALES, P.; CAMARA, M.; SANCHEZ-MATA, M. C. Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 531-536, 2010.

BERRIOS, J. J.; ASCHERI, J. L. R.; LOSSO, J. N. Extrusion processing of dry beans and pulses. In M. Siddiq, & M.A. Uebersax (Eds.), **Dry beans and pulses**, 1 ed. Arnes: Iowa State University, 2013. 185–203 p.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1992, 151p.

BOMBO, A.J. **Obtenção e caracterização nutricional de snacks de milho (*Zea mays L.*) e linhaça (*Linum usitatissimum L.*)**. São Paulo, 2006. 96p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.

BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Food Science and Technology** (Campinas), v. 25, p. 835-843, 2005.

BORSATO D.; DALL'ANTONIA L. H.; GUEDES C. L. B; MAIA E. C. R.; FREITAS H. R. F; SPACINO I. M. K. R. Aplicação do delineamento simplex-centroide no estudo da cinética da oxidação de biodiesel B100 em mistura com antioxidantes sintéticos. **Química Nova**, v. 33, n. 8, São Paulo, 2010.

BOUVIER, J.; BONNEVILLE, R.; GOULLIEUX, A. Instrumental methods for the measurement of extrudate crispness. **Agro Food Industry Hi Tech**, v. 8, p. 16-20, 1997.

BRANDT, K. G.; SILVA, G. A. P. Soroprevalência da doença celíaca em ambulatório pediátrico, no nordeste do Brasil. **Arquivos de Gastroenterologia**, São Paulo, v. 45, n. 3, set. 2008 .

BRASIL 2003, **Resolução RDC ANVISA nº 360 de 23 de novembro de 2003**. Aprova o “**Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados**”, tornando Obrigatório a rotulagem Nacional. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/e-legis>>. Acesso em: 17 Jan 2015.

BRASIL, Leis, decretos etc. Ministério de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Aprova resolução RDC nº. 12, de 30/03/1978 da comissão nacional de normas e padrões para alimentos - **cnnpa**. estabelece normas técnicas especiais relativas a alimentos (e bebidas). Disponível em: <http://elegis.bvs.br/leisref/public/showact.php?id=16216&mode=print_version>. Acesso em: 20. jul. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária – MARA. Secretaria Nacional de Abastecimento. **Normas de identidade, qualidade, embalagem e apresentação de arroz.** Brasília, 1988.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio : Brasil 2012/2013 a 2022/2023 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Assessoria de Gestão Estratégica. – Brasília : Mapa/ACS, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 27 de 14 de janeiro de 1998. **Regulamento técnico referente à informação nutricional complementar.** Disponível em: <<http://anvisa.gov.br>>. Acesso em: 10 out 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Dialogando sobre o direito humano à alimentação adequada no contexto do SUS / Ministério da Saúde.** Série F. Comunicação e Educação em Saúde – Brasília, 2010. 72 p.

BRASIL. Resolução, n. 263 de setembro 2005. **Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos.** Diário Oficial da União, Brasília, p. 368-369.

BRENNAN, C.S. Dietary fiber, glycemic response, and diabetes. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 49, n.6, p. 560-570, 2005.

BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 23, p. 85-112, 1998.

CALLEGARO M. G. K.; DUTRA C. B.; HUBER L. S.; BECKER L.V.; ROSA C.S.; KUBOTA E. H.; HECKTHEUR L. H. Determinação da fibra alimentar insolúvel, solúvel e total de produtos derivados do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 271-74, 2005.

CAMPBELL, M. K.; FARELL, S. O. **Biochemistry**. 6th ed. Thomsom. USA. 2009. 814 p.

CARLSON J. J.; EISENMANN J. C.; NORMAN G. J.; ORTIZ K. A.; YOUNG P. C. **Dietary fiber and Nutrient density are inversely associated with the Metabolic Syndrome in US adolescents.** 2011. JADA. 111-1688 p.

CARVALHO A. V.; BASSINELLO P. Z.; MATTIETTO R. A.; CARVALHO R. N.; RIOS A. O.; SECCADIO L. L. Processamento e caracterização de *snack* extrudado a partir de farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão. Braz. **Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, jan/mar. 2012.

CARVALHO, C. W. P. **Effect of sugar on the extrusion of maize and wheat.** Nottingham University, Nottingham, 2001.

CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; ONWULATA, C. I.; PORDESIMO, L. O. Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: Effect of particle size on the extrusion of corn meal. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 1, p. 103-109, 2010.

CARVALHO, C.W.P., ASCHERI, J.L.R., TAKEITI, C. Y. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para**

consumo humano e animal. Embrapa Agroindústria de Alimentos, Abril, 2011.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados (3g) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.

CATALANI, A. L.; KANG, E. M. S.; DIAS, M. C. G.; MACULEVICIUS, J. Fibras alimentares. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, v. 18, p. 178-182, 2003.

CHANDRA, R. K. Micronutrients and immune functions. An overview. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 587, p. 9-16, 1989.

CHANG, Y. K.; EL-DASH, A. A. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 20, n. 2, p. 129-137. 2003.

CHARALAMPOPOULOS, R.; WANG, S. S.; PANDIELLA, C.; WEBB, C. Application of cereals and cereal components in functional foods: a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 79, p. 131-141, 2002.

CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion cooking. **Food Chemistry**, v. 20, n. 3, p. 263-283, 1986.

CHEFTEL, J. C.; CUQ, J. L.; LORIENT, E. D. **Proteínas alimentarias. Bioquímica, propiedades funcionales, valor nutricional, modificaciones químicas.** Acribia, Spain, 1989. 49-139 p.

CHRISTOFIDES, V.; AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S.; GOMES, F. Physical evaluation of maize-based extruded snack with curry powder. **Nahrung**, v. 48, n. 1, p. 61-64, 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2010/2011: décimo primeiro levantamento**, agosto/2011. Brasília: CONAB, 2011. 41p.

CONAB. **Brasil: Balance de Oferta e Demanda, 2005.** Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: fev 2013.

CONAB. **Sorgo: Conjuntura mensal, 2014.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_02_12_09_51_27_sorgojaneiro2014.pdf>. Acesso em: fev 2015.

CORNELL, J. A. **Experiments with mixtures: designs, models and the analysis of mixture data.** 2nd ed., John Wiley and Sons: New York, 2011.

COZZOLINO, S. M. F. Deficiências de minerais. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 60, p. 119-126, 2007.

CUMMINGS J. H., MANN J. I., NISHIDA C., VORSTER H. H. Dietary fibre: an agreed definition. **Lancet**, v. 373, n. 9661, p.365-6, 2009.

DENARDIN, C.C.; SILVA, L.P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físicoquímicas. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 39, n. 3, p.945-954, 2009.

DEOSTHALE, Y.; BELAVADY, B. Mineral and trace element composition of sorghum grain: effect of variety, location and application of the nitrogen fertilizer. **Indian Journal of Nutrition and Dietetics**, v. 15, n. 9, p.302-308, 1978.

DEVRIES J. W. On defining dietary fibre. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, n. 1, p. 37-43, 2003.

DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORÉ, A. S.; VORAGEN, A. J.; BERKEL, W. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, p. 384-395, 2006.

DING, Q. B.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 283-289, 2005.

DOGAN, H.; KARWE, M. V. Physicochemical properties of quinoa extrudates. **Food Science and Technology International**, v. 2, p. 101–114, 2003.

DUARTE, G., CARVALHO, C. W. P., ASCHERI, J. L. R. Effect of soybean hull, screw speed and temperature on expanded maize extrudates. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 3, p. 205–212, 2009.

DUODU, K. G.; TAYLOR, J. R. N; BELTON, P. S.; HAMAKER, B. R. Factors affecting sorghum protein digestibility. **Journal of cereal science**, v. 38, n. 2, p. 117-131, 2003.

DUTCOSKY, S. D.; GROSSMANN, M. V. E.; SILVA, R. S. S. F.; WELSCHA, A. K. Combined sensory optimization of a prebiotic cereal product using multicomponent mixture experiments. **Food Chemistry**, v. 98, p. 630-638, 2006.

DYKES, L.; ROONEY, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 3, p. 236–251, 2006.

EARP, C. F.; McDONOUGH, C. M.; ROONEY, L. W. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 1, p. 21–27, 2004.

EGASHIRA, E.M. O celíaco e a dieta: problemas de adaptação e alimentos alternativos. **Journal de Pediatria**, v. 8, p. 41-44, 1986.

EL-DASH, A. A. **Thermoplastic extrusion of food, theory and techniques**. Campinas: UNICAMP, 1982. 81p.

EL-DASH, A.A. **Aplication and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses**. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. Cereals a renewable resource: theory and pratice. St. Paul: AACC, cap.10, p.165-216, 1982.

EL-SAID, H. M.; AHMED, E. A.; ROUSHDI, M.; EL-ATTAR, W. Gelatinization, pasting characteristics and cooking behaviour of Egyptian rice varieties in relation to amylose and protein contents. *Starch/Starke*, New York, v. 31, n. 8, p. 270-274, 1979.

EMBRAPA. **Cultivo do sorgo. Mercado e comercialização. Embrapa Milho e Sorgo** Sistema de Produção 2, 2011. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo/mercado.htm>>. Acesso em: 15 Sep 2014.

ENDRESS, H.; FISHER, J. Fibers and fiber blends for individual needs: a physiological and technological approach. In: Advanced dietary fiber technology. Oxford: **Blackwell Science**, p.283-298, 2001.

ESMAILLADEH A.; MIRMIRAN P; AZIZI F. Whole-grain intake and the prevalence of hypertriglyceridemic waist phenotype in Iranian adults. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 81, n. 1, p.55- 63, 2005.

FANG, Y.; ZHANG, B.; WEI, Y.; LI, S. Effects of specific mechanical energy on soy protein aggregation during extrusion process studied by size exclusion chromatography coupled with multi-angle laser light scattering. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n. 2, p. 220–225, 2013.

FAO – **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Statistical databases 2006. Online. Disponível na Internet: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 20 jun 2014.

FAO/OMS. **Human Vitamin and Mineral Requirements**. In: Report 7^a Joint FAO/OMS Expert Consultation. Bangkok, Thailand, 2001. 286p.

FAOSTAT. FAO Statistics Division 2013. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2013.

FELLOWS, P. **Extrusion. in: fellows, p. food processing technology: principles and practice**. Cambridge: Woodhead Publishing, cap. 14, p. 294-308, 2002.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2 ed., Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERNANDES, M. S.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; OLIVEIRA, M. F.; COSTA, S. A. J. Efeito da temperatura de extrusão na absorção de água, solubilidade e dispersibilidade da farinha pré-cozida de milho e soja (70:30). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 234-239, 2003.

FLETCHER, S. I.; RICHMOND, P.; SMITH A. C. An experimental study of twin-screw extrusion-cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, v. 4, p. 291-312. 1985.

FOOD AND NUTRITION BOARD. Dietary reference intakes: proposed definition of dietary fiber. Washington: **National Academy Press**, p. 1-64, 2001.

FRAJHA, M. **Efeitos da temperatura, pressão e taxa de cisalhamento sobre a viabilidade**

de esporo termodúrico durante a extrusão de alimentos para animais. Tese de Doutorado, 2008 - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP.

FREI, M. et al. Studies on in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. **Food Chemistry**, v. 83, p. 395-402, 2003.

FROLICH W; AMAN P. Whole grain for whom and why? **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 54, 2010.

FUKUOKA, M.; OHTA, K. I.; WATANABE, H. Determination of the terminal extent of starch gelatinization in a limited water system by dsc. **Journal of Food Engineering**, v. 53, n. 1, p. 39-42, 2002.

FURLAN, A. C.; MONTEIRO, R. T.; SCAPINELLO, C.; MOREIRA, I.; MURAKAMI, A. E.; OTOTUMI, L.; SANTOLIN, M. L. R. Valor nutritivo e desempenho de coelhos em crescimento alimentados com rações contendo milho extrudado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 5, p. 1157-1165, 2003.

GOOD C. K; HOLDSCHUH N.; ALBERTSON A. M.; ELDRIDGE A. L. Whole grain consumption and body mass index in adult women: an analysis of NHANES 1999-2000 and the USDA Pyramid Servings Database. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 27, n. 1, p. 80-7, 2008.

GREEN, P. H. R.; JABRI, B. Coeliac Disease. **The Lancet**, v. 362, p. 383-391, 2003.

GUHA, M.; ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, S. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 32, n. 3, p. 251-267, 1997.

GUPTA, U. C.; GUPTA, S. C. Sources and Deficiency Diseases of Mineral Nutrients in Human Health and Nutrition: A Review. **Pedosphere**, v.24, n.1, p.13-38, 2014.

GUTKOSKI, L.C. **Extrusão de produtos de aveia**. In: GUTKOSKI, L.C.; PEDÓ, I. Aveia: composição química, valor nutricional e processamento. São Paulo: Varela, 2000. cap.7, 169-103 p.

HAAS P; MACHADO M. J; ANTON A. A.; SILVA A. S. Effectiveness of whole grain consumption in the prevention of colorectal cancer: Meta-analysis of cohort studies. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, n. 21, p. 1-13, mar. 2009.

HANS HAUNER H.; BECHTHOLD A.; BOEING H.; BRÖNSTRUP A.; BUYKEN A.; LESCHIK-BONNET E. et al. Evidence-based guideline of the German Nutrition Society: carbohydrate intake and prevention of nutrition-related diseases. **Annals of Nutrition and Metabolism**, v. 60, n. 1, p. 1-58, 2012.

HARBER, G. B. Depletion and disruption of dietary fiber. Effects on satiety, plasma glucose and serum insulin. **Lancet**, v. 12, p. 682-697, 1997.

HASHIMOTO, J. M.; GROSSMANN, M. V. E. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. International **Journal of Food Science & Technology**, v. 38, n. 5, p. 511-517, 2003.

HIBI, H. Y. **Effect of lipids on the viscoelastic properties of rice starch gel.** Starch/Stärke, New York, v. 46, n. 2, p. 44-48, 1994.

HIDALGO-CHAVEZ, D. W. **Effect of extrusion processing of mixed flour, coffee powder and sorghum on the physico-chemical properties and antioxidant capacity.** 2013. Dissertacão (Mestrado em Ciencia e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2014.

HOLMA R.; HONGISTO S. M.; SAXELIN M.; KORPELA R. Constipation is relieved more by rye bread than wheat bread or laxatives without increased adverse gastrointestinal effects. **Jornal of Nutrition**, v. 140, n. 3, p. 534-41, 2010.

HOLMES, G. K.; CATASSI, R. **What is the coeliac iceberg?** Disponível em: <http://www.cdrc.org.uk/en/article.asp?chco_id=563>. Acesso em: 07 dezembro 2013.

HUR I. Y; REICKS M. Relationship between Whole-Grain Intake, Chronic Disease Risk Indicators, and Weight Status among Adolescents in the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999-2004. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 12, n. 1, p. 46-55, 2012.

HYUN, J. W.; CHUNG, H.S. Cyanidin and malvidin from *Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo mediate cytotoxicity against human monocytic leukemia cells by arrest of G2/M phase and induction of apoptosis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 2213-2217, 2004.

ICTA/UFRGS. **Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da UFRGS.** Disponível em: <http://www.ufrgs.br/alimentus1/terradeaço/grao/gr_esquema_popup.htm>. Acesso em: 25 Jan. 2015.

ISMAIL M.; AL-NAQEEB G.; MAMAT W. A.; AHMAD Z. Gamma-oryzanol rich fraction regulates the expression of antioxidant and oxidative stress related gene in stressed rat's liver. **Nutrition & Metabolism**, v. 7, n. 23, 2010.

ITANI, T. et al. Distribution of amylose, nitrogen, and minerals in rice kernels with various characters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 5326-5332, 2002.

JULIANO, B.O. **Rice in human nutrition.** Rome: FAO, 1993. Online. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 01 dez 2014.

JULIANO, B.O.; BECHTEL, D.B. The rice grain and its gross composition. In: JULIANO, B.O. (Ed.). Rice: chemistry and technology. Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, cap.2, p.17-57, 1985.

KENNEDY, G. et al. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. **International Rice Commission Newsletter**, v. 51, p. 33-42, 2002.

KHAN, I.; YOUSIF, A.; JOHNSON, S. K.; GAMLATH, S. Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. **Food Research International**, v. 54, n.1, p.578-586, 2013.

KLOOTS W, OP DEN KD, ABRAHAMSE L. In vitro iron availability from iron-fortified whole-grain wheat flour. **J Agric Food Chem**, v. 52, n. 26, p.8132-6, dec. 2004.

KOTZE, L. M. S. Celiac disease in Brazilian patients: associations, complications and causes of death. Forty years of clinical experience. **Arquivos de Gastroenterologia.**, São Paulo, v. 46, n. 4, dez. 2009 .

LARREA, M. A.; CHANG, Y. K.; MARTINEZ-BUSTOS, F. Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality of cookies. **Lebensmittel-Wissenschaft Technologie**, v. 38, p. 213–220, 2005.

LASZTITY, R. **The chemistry of cereal proteins**. CRC. 1996.

LAZOU, A.; KROKIDA, M. Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 100, p. 392–408, 2010.

LEE W. T; IP K. S; CHAN J. S; LUI N. W; YOUNG B. W. Increased prevalence of constipation in pre-school children is attributable to under-consumption of plant foods: a community-based study. **J Paediatr Child Health**, v.44, n.4, p. 170-5, 2008.

LEONEL M.; MISCHAN M. M; FILHO J. D.; LEONEL S. Efeito de parâmetros de extrusão sobre as propriedades físicas de extrusados de banana e mandioca. Publ. UEPG. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v.14, n. 1, p. 51-58, abr. 2008.

LEONEL M.; SOUZA L. B.; MISCHAN M. M. Produção de snacks extrusados à base de polvilho doce e fibra de laranja. **Ciência Rural**, v. 40, n.6, 2010.

LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá**. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2007.

LINDEN, N. L.; LORIENT, D. **Bioquímica agroindustrial**. Zaragoza: Acribia, 1994. 426 p.

LIU, R. H. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**, v. 46, n. 3, p. 207–219, 2007.

LUSTOSA, B. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Influencia de parâmetros de extrusão na absorção e solubilidade em agua de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 20, n. 2, p. 223-229, 2009.

MADEIRA, M. S. E. **Produção de Macarrão Pré-Cozido à Base de Farinha Mista de Arroz Integral e Milho para Celíacos Utilizando o Processo de Extrusão** Tese 2007. 118 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciencia y tecnologia de Alimentos, Seropédica. 2007.

MAIA, L. H.; WNAG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; CABRAL, L. C.; FERNANDES, M. S. Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, 1999.

MAKARAVICIUS, T.; BASINSKIENE, L.; JUODEIKIENE, G.; VAN GOOL, M. P.; SCHOLS, H. A. Production of oligosaccharides from extruded wheat and rye biomass using enzymatic treatment. **Catalysis Today**, v. 196, n. 1, p. 16-25, 2012.

MAKI K. C.; BEISEIGEL J. M; JONNALAGADDA S. S; GUGGER C. K; REEVES M. S.; FARMER M. V. et al. Whole- grain ready-to-eat oat cereal, as part of a dietary program for weight loss, reduces low-density lipoprotein cholesterol in adults with overweight and obesity more than a dietary program including low-fiber control foods. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 110, n. 2, p.205-14, 2010.

MANI, R.; BHATTACHARYA, M. Properties of injection moulded starch/synthetic polymer blends – iii. effect of amylopectin to amylose ratio in starch. **European Polymer Journal**, v. 34, n. 10, p. 1467-1475, 1998.

MARTINS, C. L. S. et al . Doença celíaca e infertilidade feminina: associação freqüentemente negligenciada. **Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia**, v. 28, n. 10, out. 2006 .

MATHIAS, S. V. L. **Efeito das variáveis de extrusão nas características físicas, químicas, sensoriais e nutricionais da farinha instantânea de misturas de quinoa (Chenopodium quinoa, Wild) e arroz (Oryza sativa, L.)**. Tese 2002. 174 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência e tecnologia de Alimentos Seropédica. 2002.

MEERA, M. S.; BHASHYAM, M. K.; ALI, S. Z. Effect of heat treatment of sorghum grains on storage stability of flour. **Food Science and Technology**, v. 44, n. 10, 2199–2204, 2011.

MELANSON K. J.; ANGELOPOULOS T. J.; NGUYEN V. T.; MARTINI M.; ZUKLEY L.; LOWNDES J. et al. Consumption of whole-grain cereals during weight loss: effects on dietary quality, dietary fiber, magnesium, vitamin B- 6, and obesity. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 106, n. 9, p.1380-8, 2006.

MELLO V. D.; LAAKSONEN D. E. Fibras na dieta: tendências atuais e benefícios à saúde na síndrome metabólica e no diabetes melito tipo 2. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 53, n. 5, p. 509-18, 2009.

MENDEZ-ALBORES, A.; MARTINEZ-BUSTOS, F.; VELES-MEDINA, J. J.; MORENO-RAMOS, C.; DEL RIO-GARCIA, J. C.; MORENO-MARTINEZ, E. Efecto de la adición de ácido cítrico sobre la degradación de las aflatoxinas y las propiedades funcionales de productos extrudidos de sorgo. **Interciencia**, v. 24, p. 252-258, 2009.

MENEGASSI, B., LEONEL, M., MISCHAN, M.M., PINHO, S.M.Z. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1780-1792, 2007.

MENEZES, L. F. G.; SEGABINAZZI, L. R.; BRONDANI, I. L.; RESTLE, J.; ARBOITTE, M. Z.; KUSS, F.; PACHECO, P. S.; ROSA, J. R. P. Silagem de milho e grão de sorgo como

suplementos para vacas de descarte terminadas em pastagem cultivada de estação fria. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, p. 182-189, 2009.

MENG, X.; THREINEN, D.; HANSEN, M.; DRIEDGER, D. Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p.650-658, 2010.

MESA-STONESTREET, N. J.; ALAVI, S.; BEAN, S. R. Sorghum proteins: the concentration, isolation, modification, and food applications of kafirins. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 5, p. R90-R104, 2010.

MILLER H. E.; RIGELHOF F.; MARQUART L.; PRAKASH A.; KANTER M. Antioxidant content of whole grain breakfast 6, and obesity. **Journal of the American Dietetic Association**, v.106, n. 9, p.1380-8, sep. 2006.

MIRANDA G. S.; RENNÓ L. N.; MACHADO B. B.; SILVA J. L.; PINTO R.; OLIVEIRA M. R. Efeito do consumo da aveia e farinha da casca de maracujá sobre a glicemia e lipemias em um grupo de voluntários. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 35, n. 2, p.245-250, 2014.

MOHAMED, S. Factors affecting extrusion characteristics of expanded starch-based products. **Journal of Food Processing and preservation**, v. 14, n. 6, p. 437-452, 1990.

MOHARRARA, Y. G.; YOUSSEF, A. M. A. Sorghum grain and quality of its edible products. **Food Science and Technology Department Faculty of Agriculture**, Alexandria University, Alexandria, Egypt, 1995.

MORARU, C. I.; KOKINI, J. L. Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 2, n. 4, p. 147–165, 2003.

MORRIS, P. C.; BRYCE, J. H. Cereal biotechnology. **Woodhead Publishing Limited**. Cambridge: England, p. 245. 2000.

MOWAT, A. M. Coeliac Disease: a meeting point for genetics, immunology, and protein chemistry. **Lancet**, v. 361, p. 1290-1292, 2003.

MUNTER J. S, HU F. B.; SPIEGELMAN D.; FRANZ M.; VAN DAM R. M. Whole grain, bran, and germ intake and risk of type 2 diabetes: A prospective cohort study and systematic review. **Plos Medicine**, v. 4, n. 8, p.261, sep. 2007.

MUTISYA, J.; SUN, C.; ROSENQUIST, S.; BAGUMA, Y.; JANSSON, C. Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, p. 428-434, 2009.

NAM, S. H. et al. Antioxidative, antimutagenic, and anticarcinogenic activities of rice bran extracts in chemical and cell assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 816-822, 2005.

NASCIMENTO, E. M. D. G. C. D.; CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; FREITAS, D. D. G. C.; ASCHERI, J. L. R. Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn expanded extrudates. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 434-443, 2012.

NASCIMENTO, Elisabete Maria da Graça Costa. 2010. **Elaboração de produtos de milho enriquecidos com grãos e torta semi-desengordurada de gergelim por extrusão termoplástica**. 125 p. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

NATIONAL GRAIN SORGHUM PRODUCERS. **What is Sorghum?**. Disponível em: <<http://www.sorghumgrowers.com/> Sorghum+101>. Acesso em: 21 fev 2014.

NAYAK, B.; BERRIOS, J. D. J.; POWERS, J. R.; TANG, J. Effect of Extrusion on the Antioxidant Capacity and Color Attributes of Expanded Extrudates Prepared from Purple Potato and Yellow Pea Flour Mixes. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 6, p.C874-C883, 2011.

NEPA. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. **TACO: tabela brasileira de composição de alimentos**. Campinas: NEPA-UNICAMP, 113 p. 2006.

NILSSON, M.; AMAN, P.; HÄRKÖNEN, H.; HALLMANS, G.; KNUDSEN, K.E.B.; MAZUR, W.; ADLERCREUTZ, H. Content of nutrients and lignans in roller milled fractions of rye. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 73, p. 143– 148, 1997.

OATWAY, L.; VASANTHAN, T.; HELM, J. H. Phytic acid. **Food Reviews International, Philadelphia**, v. 17, n. 4, p. 419-431, 2001.

ONWULATA, C. I., KONSTANCE, R. P., STRANGE, E. D., SMITH, P. W., & HOLSINGER, V. H. High-fiber snacks extruded from triticale and wheat formulations. **Cereal Foods World**, v. 45, p. 470–473, 2000.

ONWULATA, C.; KONSTANCE, R. Extruded corn meal and whey protein concentrate: effect of particle size. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 30, n. 4, p.475-487, 2006.

ONWULATA, C.; KONSTANCE, R.; SMITH, P.; HOLSINGER, V. Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products. **LWT-Food Science and Technology**, v. 34, n. 7, p. 424-429, 2001.

ORNELLAS, I h - **Técnica Dietética: Seleção e preparo de alimentos**. São Paulo: Ateneu, 142p. 2001.

PAES, M. C. D. Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho. **Circular Técnica**. Embrapa Milho e Sorgo. 2006.

PASCHOAL, V; NAVES, A; FONSECA, A. B. B. L. **Nutrição Clínica Funcional: dos princípios à prática clínica**. 1 Ed. São Paulo: VP Editora, 2007. Coleção Nutrição clínica funcional.

PEREIRA, M. A.; JACOBS, D. R.; PINS, J. J.; RAATZ, S. K.; GROSS, M. D.; SLAVIN, J. L.; SEAQUIST, E. R. Effect of whole grains on insulin sensitivity in overweight hyperinsulinemic adults. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 75, p. 848-855, 2002.

PEREIRA, M. M.; OLIVEIRA, A. P.; BATISTA, P. B.; DIAS, D. L. S.; BRANDÃO, R. K. C.; FARIAS, P. G. O uso do sorgo na alimentação animal: revisão de literatura. **Pubvet**, v.3, 2009. Disponível em: <http://www.pubvet.com.br/artigos_det.asp?artigo=587>. Acesso em: 25 fev 2014.

PETRUZZIELLO L.; IACOPINI F.; BULAJIC M.; SHAH S.; COSTAMAGNA G. Review article: uncomplicated diverticular disease of the colon. **Aliment Pharmacol Ther**, v. 23, n. 10, p. 1379-91, 2006.

PEYRON, S.; SURGET, A.; MABILLE, F.; AUTRAN, J.; ROUAU, X.; ABECASSIS, J. Evaluation of tissue dissociation of durum wheat grain (*Triticum durum* Desf.) generated by the milling process. **Journal of Cereal Science**, v. 36, n. 2, p. 199-208, 2002.

RAGAEE, S.; ABDEL-AAL, E. S. M. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, v. 95, p. 9-18, 2006.

ROUDAUT, G.; DACREMONT, C.; PAMIES, B.V.; COLAS, B.; LE MESTE, M. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. **Trends in Food Science & Technology**, v. 13, n. 6-7, p. 217-227, 2002.

RUIZ-RUIZ, J.; MARTÍNEZ-AYALA, A.; DRAGO, S.; GONZÁLEZ, R.; BETANCUR-ANCONA, D.; CHEL-GUERRERO, L. Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. **LWT – Food Science and Technology**, p. 1-9, 2008.

SAHYOUN N. R.; JACQUES P. F.; ZHANG X. L.; JUAN W.; MCKEOWN N. M. Whole-grain intake is inversely associated with the metabolic syndrome and mortality in older adults. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 83, n. 1, p.124-31, 2008.

SAIKUSA, T. et al. Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, p. 1122-1125, 1994.

SCHUPPAN, D.; ESSLINGER, B.; DIETERICH, W. Innate immunity and coeliac disease. **Lancet**, v. 362, p. 3-4, 2003.

SDEPANIAN, V. L.; MORAIS, M. B.; FAGUNDES NETO, U. Doença celíaca: a evolução dos conhecimentos desde sua centenária descrição original até os dias atuais. **Arquivos de Gastroenterologia**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 244-57, 1999.

SDEPANIAN, V. L; MORAIS, M. B.; FAGUNDES-NETO, U. Doença celíaca: avaliação da obediência à dieta isenta de glúten e do conhecimento da doença pelos pacientes cadastrados na Associação dos Celíacos do Brasil (ACELBRA). **Arquivos de Gastroenterologia**, São Paulo, v. 38, n. 4, 2001 b.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos: propriedades, degradações, modificações.** Editora Varela, São Paulo, 1996. 259-335, 357 p.

SILVA, E. M. M. **Desenvolvimento e caracterização físico-química de extrudados de milho e feijão.** 2010. 230f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2010.

SILVA, M. C.; THIRÉ, R. M. S. M.; PITA, V. J. R. R.; CARVALHO, C. W. P.; ANDRADE, C. T. Processamento de amido de milho em câmara de mistura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 303-310, 2004.

SILVA, R. F; ASCHERI, J. L. R; Extrusão de quirera de arroz para uso como ingrediente alimentar **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 3, p. 190-199, jul./set. 2009.

SILVA, T. C. **Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica.** Tese 2009. 199 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência e tecnologia de Alimentos Seropédica.

SILVA, T. S. G.; FURLANETTO, T. W. Diagnóstico de doença celíaca em adultos. **Revista Associação Médica Brasileira**, São Paulo, v. 56, n. 1, 2010.

SOETAN, K.; OLAIYA, C.; OYEWOLE, O. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. **African Journal of Food Science**, v. 4, n.5, p. 200-222, 2010.

SOUZA, D. R. et al. Ingestão alimentar e balanço energético da população adulta de Niterói, Rio de Janeiro, Brasil: resultados da Pesquisa de Nutrição, Atividade Física e Saúde (PNAFS). **Cadernos de Saúde Pública**, v. 26, n. 5, p. 879-890, 2010.

SRIBURI, P.; HILL, S. E.; BARCLAY, F. Depolymerisation of cassava starch. **Carbohydrate polymers**, v. 38, n. 3, p. 211-218, 1999.

STARK, A.; MAYERS, G.L. National Cholesterol education program recommendations for measurement triglyceride: Executive Summary. **Clinical Chemistry**, v. 41, p. 1421-1426, 1995.

SUN, Q.; SPIEGELMAN, D.; VAN DAM, R. M.; HOLMES, M. D.; MALIK, V. S.; WILLETT, W. C.; HU, F. B. White rice, brown rice, and risk of type 2 diabetes in US men and women. **Archives of Internal Medicine**, v. 170, n. 11, p. 961-969, 2010.

SUTER PM. Carbohydrates and dietary fiber. **Handbook of Experimental Pharmacology**, v. 170, p. 231-61, 2005.

TAIRA, H. **Grain quality: physicochemical properties and quality of rice grains.** In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. (Ed.). **Science of the rice plant.** Tokyo: Food and Agriculture Police Research Center, v.2 (Physiology). cap. 6.1, p.1063-1089, 1995.

TAYLOR, J.; BEAN, S. R.; IOERGER, B. P. Preferential binding of sorghum tannins with gkafirin and the influence of tannin binding on kafirin digestibility and biodegradation. **Journal of Cereal Science**, v. 46, n. 1, p. 22-31, 2007.

TEDRUS, G. A. S. et al. Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 20-25 jan 2001.

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A. **Starches: practical guides for the food industry**. Minnesota: Eagan Press, 1999, 94 p.

TIAN, S. et al. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 4808-4813, 2004.

TREPEL F. [Dietary fibre: more than a matter of dietetics. ii. preventative and therapeutic uses]. **Wien Klin Wochenschr**, v. 116, n.15- 16, p. 511-22, 2004.

TSUNECHIRO, A.; MIURA, M. Relações de preço sorgo/milho nos Estados de São Paulo, Goiás e Rio Grande do Sul, 2001-2009. **Informações Econômicas**, v. 41, p. 45-50, 2011.

USP. Universidade de São Paulo. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. São Paulo, 2004. versão 4.1. Disponível em:<<http://www.fcf.usp.br/tabela>>. Acesso em: 22 fev 2005.

VARGAS-SOLORZANO, J. W. **Obtenção e caracterização de farinha extrudada de diferentes genótipos de sorgo para o desenvolvimento de biscoitos doces**. Tese 2013. 127 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Seropédica. 2013.

VARGAS-SOLORZANO, J. W.; CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; ASCHERI, J. L. R.; QUEIROZ, V. A. V. Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. **Food Research International**, v. 55, n. 0, p. 37-44, 2014.

VÁZQUEZ-ARAÚJO, L.; CHAMBERS IV, E.; CHERDCHU, P. Consumer input for developing human food products made with sorghum grain. **Journal of Food Science**, v. 77, n.10, p. S384-S389, 2012.

WALTER. M; MARCHEZAN E.; AVILA L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, jul. 2008.

WANDERS, A. J.; FESKENS, E. J. M.; JONATHAN, M. C.; SCHOLS, H. A.; DE GRAAF, C.; MARS, M. Pectin is not pectin: A randomized trial on the effect of different physicochemical properties of dietary fiber on appetite and energy intake. **Physiology & Behavior**, v. 128, n. 4/10, p. 212-219. 2014.

WANG, N.; BHIRD, P.R.; SOSULSKI, F.W.; TYLER, R.T. Pasta-like product from pea flour by twin-screw extrusion. **Journal of Food Science**, v. 64, n. 4, p. 671-678, 1999.

WANISKA, R.D.; ROONEY, L.W. Structure and chemistry of the sorghum caryopsis. In: SMITH, C.W.; FREDERIKSEN, R.A. (Ed.). **Sorghum: origin, history, technology, and**

production. New York: John Wiley and Sons, 2000. 649-688 p.

WATANABE, T.; OSAKI, M. "Mechanisms of adaptation to high aluminum condition in native plant species growing in acid soils: a review". **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, p.1247-60. 2002.

WELSH S.; SHAW A.; DAVIS C. Achieving dietary recommendations: whole-grain foods. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 106, n. 9, p.1380-8, 2006.

WHALEN, P.; BASON, M.; BOOTH, R.; WALKER, C.; WILLIAMS, P. Measurement of extrusion effects by viscosity profile using the rapid viscoanalyser. **Cereal Foods World**, v.42, n.6, p.469-475, 1997.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. STARCH. IN: WHISTLER, R. L. **Carbohydrate Chemistry For Food Scientists**. AACC. St Paul: Eagan Press, 1997. 117-151 p.

WILEY, B. **Dry beans and pulses, production processing, and nutrition**. Iowa, v.1. 2013.

WILLIAMS C.; STROBINO B. A. Childhood diet, overweight, and CVD risk factors: the Healthy Start project. **European Journal of Preventive Cardiology**, v. 11, n. 1, p. 11-20, 2008.

XIA, M. et al. Supplementation of diets with the black rice pigment fraction attenuates atherosclerotic plaque formation in apolipoprotein E deficient mice. **Journal of Nutrition**, v. 133, n. 3, p. 744-751, 2003.

YACU, W. Process instrumentation and control in food extruders. **Cereal Foods World**, v. 35, n. 9, p. 919-926, 1990.

YANNIOTIS, S.; PETRAKI, A.; SOUMPASI, E. Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 594–599, 2007.

ZHOU, Z. et al. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 849-868, 2002.

ZHOU, Z. et al. The distribution of phenolic acids in rice. **Food Chemistry**, v. 87, p. 401-406, 2004.

ANEXOS

ANEXO A. ANOVA da Densidade Aparente dos tratamentos à base de grão integrais de arroz, milho e sorgo.

| Model | ANOVA; Var.:Densidade (Spreadsheet_Vanessa.Toledo) 3 Factor mixture design; Mixture total=1., 10 Runs Sequential fit of models of increasing complexity | | | | | | | | | |
|----------------|---|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------|----------|----------|-------------------|
| | SS Effect | df Effect | MS Effect | SS Error | df Error | MS Error | F | p | R-Sqr | R-Sqr Adjusted |
| Linear | 0.002714 | 2 | 0.00135 | 0.00019 | 7 | 0.000028 | 48.4744 | 0.000079 | 0.932659 | 0.913419 |
| Quadratic | 0.000136 | 3 | 0.000046 | 0.00006 | 4 | 0.000016 | 3.03802 | 0.155545 | 0.979460 | 0.953785 |
| Special Cubic | 0.000006 | 1 | 0.000006 | 0.00006 | 3 | 0.000020 | 0.00952 | 0.928411 | 0.979525 | 0.938575 |
| Total Adjusted | 0.002910 | 9 | 0.000321 | | | | | | | |

ANEXO B. ANOVA da Energia Mecânica dos tratamentos à base de grão integrais de arroz, milho e sorgo.

| Model | ANOVA; Var.:EME (Spreadsheet_Vanessa.Toledo) 3 Factor mixture design; Mixture total=1., 10 Runs (Some terms were excluded from the respective full models) | | | | | | | | | |
|----------------|--|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|-------------------|
| | SS Effect | df Effect | MS Effect | SS Error | df Error | MS Error | F | p | R-Sqr | R-Sqr Adjusted |
| Linear | 10838.60 | 2 | 5419.298 | 10492.67 | 7 | 1498.953 | 3.615388 | 0.083472 | 0.508108 | 0.367568 |
| Quadratic | 7943.61 | 2 | 3971.805 | 2549.06 | 5 | 509.813 | 7.790711 | 0.029090 | 0.880501 | 0.784902 |
| Special Cubic | 1500.11 | 1 | 1500.112 | 1048.95 | 4 | 262.238 | 5.720419 | 0.075026 | 0.950826 | 0.889358 |
| Total Adjusted | 21331.27 | 9 | 2370.141 | | | | | | | |

ANEXO C. ANOVA dos Índices de Expansão Seccional, dos tratamentos à base de grão integrais de arroz, milho e sorgo.

| Model | ANOVA; Var.:IES (3 factor simplex-centroid desig (Spreadsheet35) in Workbook.Vanessa) 3 Factor mixture design; Mixture total=1., 10 Runs (Some terms were excluded from the respective full models) | | | | | | | | | |
|----------------|---|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|-------------------|
| | SS Effect | df Effect | MS Effect | SS Error | df Error | MS Error | F | p | R-Sqr | R-Sqr Adjusted |
| Linear | 8.888079 | 2 | 4.444039 | 0.573818 | 7 | 0.081974 | 54.21277 | 0.000055 | 0.939355 | 0.922028 |
| Quadratic | 0.341176 | 1 | 0.341176 | 0.232643 | 6 | 0.038774 | 8.79914 | 0.025076 | 0.975413 | 0.963119 |
| Total Adjusted | 9.461897 | 9 | 1.051322 | | | | | | | |

ANEXO D. ANOVA dos Índices de Expansão Longitudinal, dos tratamentos à base de grão integrais de arroz, milho e sorgo.

| Model | ANOVA; Var.:IEL (3 factor simplex-centroid desig (Spreadsheet35) in Workbook.Vanessa) 3 Factor mixture design; Mixture total=1., 10 Runs Sequential fit of models of increasing complexity | | | | | | | | | |
|----------------|--|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|-------------------|
| | SS Effect | df Effect | MS Effect | SS Error | df Error | MS Error | F | p | R-Sqr | R-Sqr Adjusted |
| Linear | 0.011282 | 2 | 0.005641 | 0.003662 | 7 | 0.000523 | 10.78256 | 0.007285 | 0.754946 | 0.684931 |
| Total Adjusted | 0.014945 | 9 | 0.001661 | | | | | | | |

ANEXO E. ANOVA dos Índices de Expansão Volumétrico, dos tratamentos à base de grão integrais de arroz, milho e sorgo.

| Model | ANOVA; Var.:IEV (3 factor simplex-centroid desig (Spreadsheet35) in Workbook.Vanessa) 3 Factor mixture design; Mixture total=1., 10 Runs Sequential fit of models of increasing complexity | | | | | | | | | |
|----------------|--|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|-------------------|
| | SS Effect | df Effect | MS Effect | SS Error | df Error | MS Error | F | p | R-Sqr | R-Sqr Adjusted |
| Linear | 3.318923 | 2 | 1.659461 | 1.324380 | 7 | 0.189197 | 8.771072 | 0.012392 | 0.714776 | 0.633284 |
| Total Adjusted | 4.643303 | 9 | 0.515923 | | | | | | | |

ANEXO F. ANOVA da Textura instrumental (Nsr) dos tratamentos à base de grão integrais de arroz, milho e sorgo.

| Model | ANOVA; Var.:Nsr (3 factor simplex-centroid desig (Spreadsheet35) in Workbook.Vanessa) 3 Factor mixture design; Mixture total=1., 10 Runs (Some terms were excluded from the respective full models) | | | | | | | | | |
|----------------|---|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|-------------------|
| | SS Effect | df Effect | MS Effect | SS Error | df Error | MS Error | F | p | R-Sqr | R-Sqr Adjusted |
| Linear | 0.079244 | 2 | 0.039622 | 0.667994 | 7 | 0.095428 | 0.415206 | 0.675456 | 0.106050 | 0.000000 |
| Quadratic | 0.209000 | 1 | 0.209000 | 0.458994 | 6 | 0.076499 | 2.732056 | 0.149439 | 0.385746 | 0.078619 |
| Total Adjusted | 0.747239 | 9 | 0.083027 | | | | | | | |

ANEXO G. ANOVA da Textura instrumental (Fc) dos tratamentos à base de grão integrais de arroz, milho e sorgo.

| Model | ANOVA; Var.:Fc (3 factor simplex-centroid desig (Spreadsheet35) in Workbook.Vanessa) 3 Factor mixture design; Mixture total=1., 10 Runs Sequential fit of models of increasing complexity | | | | | | | | | |
|----------------|---|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|-------------------|
| | SS Effect | df Effect | MS Effect | SS Error | df Error | MS Error | F | p | R-Sqr | R-Sqr Adjusted |
| Linear | 0.103121 | 2 | 0.051560 | 0.284021 | 7 | 0.040574 | 1.270758 | 0.338207 | 0.266364 | 0.056754 |
| Total Adjusted | 0.387141 | 9 | 0.043016 | | | | | | | |

ANEXO H. ANOVA da Textura instrumental (Fsr) dos tratamentos à base de grão integrais de arroz, milho e sorgo.

| Model | ANOVA; Var.:Fsr (3 factor simplex-centroid desig (Spreadsheet35) in Workbook.Vanessa) 3 Factor mixture design; Mixture total=1., 10 Runs (Some terms were excluded from the respective full models) | | | | | | | | | |
|----------------|---|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|-------------------|
| | SS Effect | df Effect | MS Effect | SS Error | df Error | MS Error | F | p | R-Sqr | R-Sqr Adjusted |
| Linear | 0.000116 | 2 | 0.000058 | 0.002461 | 7 | 0.000352 | 0.16490 | 0.851182 | 0.044993 | 0.000000 |
| Quadratic | 0.000890 | 2 | 0.000445 | 0.001570 | 5 | 0.000314 | 1.41741 | 0.325352 | 0.390536 | 0.000000 |
| Special Cubic | 0.001506 | 1 | 0.001506 | 0.000065 | 4 | 0.000016 | 93.14735 | 0.000645 | 0.974906 | 0.943538 |
| Total Adjusted | 0.002577 | 9 | 0.000286 | | | | | | | |

ANEXO I. ANOVA da Textura instrumental (Wc) dos tratamentos à base de grão integrais de arroz, milho e sorgo.

| ANOVA; Var.:Wc (3 factor simplex-centroid desig (Spreadsheet35) in Workbook.Vanessa) 3 Factor mixture design; Mixture total=1., 10 Runs Sequential fit of models of increasing complexity | | | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|
| Model | SS Effect | df Effect | MS Effect | SS Error | df Error | MS Error | F | p | R-Sqr | R-Sqr Adjusted |
| Linear | 0.003422 | 2 | 0.001711 | 0.006494 | 7 | 0.000928 | 1.844344 | 0.227304 | 0.345102 | 0.157988 |
| Total Adjusted | 0.009917 | 9 | 0.001102 | | | | | | | |

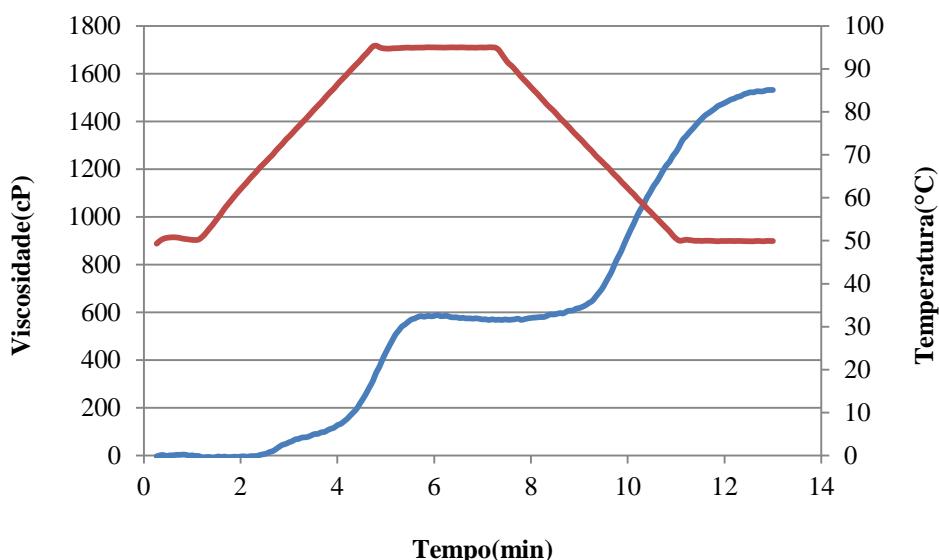
ANEXO J. ANOVA do Índice de Solubilidade em Água dos tratamentos à base de grão integrais de arroz, milho e sorgo.

| ANOVA; Var.:ISA (3 factor simplex-centroid desig (Spreadsheet35) in Workbook.Vanessa) 3 Factor mixture design; Mixture total=1., 10 Runs Sequential fit of models of increasing complexity | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|
| Model | SS Effect | df Effect | MS Effect | SS Error | df Error | MS Error | F | p | R-Sqr | R-Sqr Adjusted |
| Linear | 11.7250 | 2 | 5.86250 | 112.7124 | 7 | 16.10178 | 0.364090 | 0.707250 | 0.094224 | 0.00 |
| Total Adjusted | 124.4374 | 9 | 13.82638 | | | | | | | |

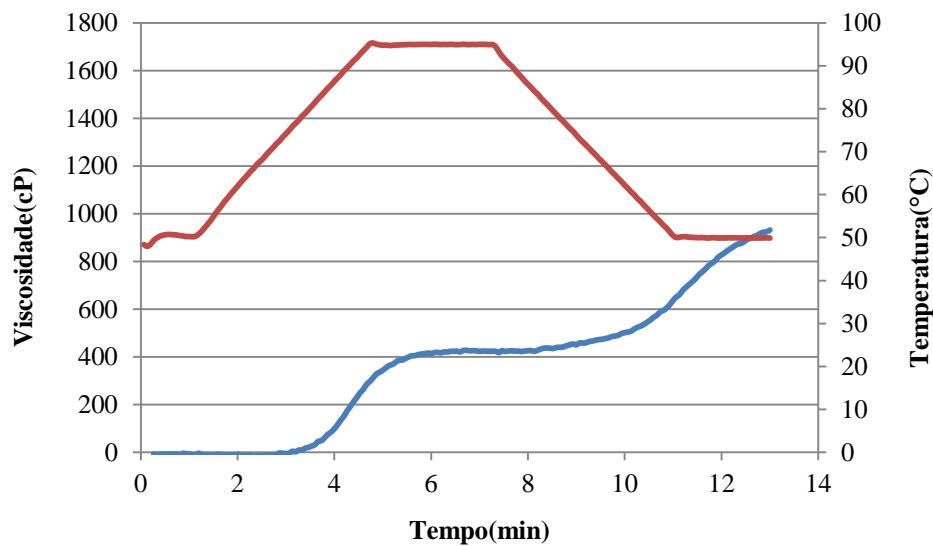
ANEXO K. ANOVA da Índice de Absorção em Água dos tratamentos à base de grão integrais de arroz, milho e sorgo.

| ANOVA; Var.:IAA (3 factor simplex-centroid desig (Spreadsheet35) in Workbook.Vanessa) 3 Factor mixture design; Mixture total=1., 10 Runs Sequential fit of models of increasing complexity | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|
| Model | SS Effect | df Effect | MS Effect | SS Error | df Error | MS Error | F | p | R-Sqr | R-Sqr Adjusted |
| Linear | 0.010437 | 2 | 0.005219 | 0.863048 | 7 | 0.123293 | 0.042327 | 0.958800 | 0.011949 | 0.00 |
| Total Adjusted | 0.873485 | 9 | 0.097054 | | | | | | | |

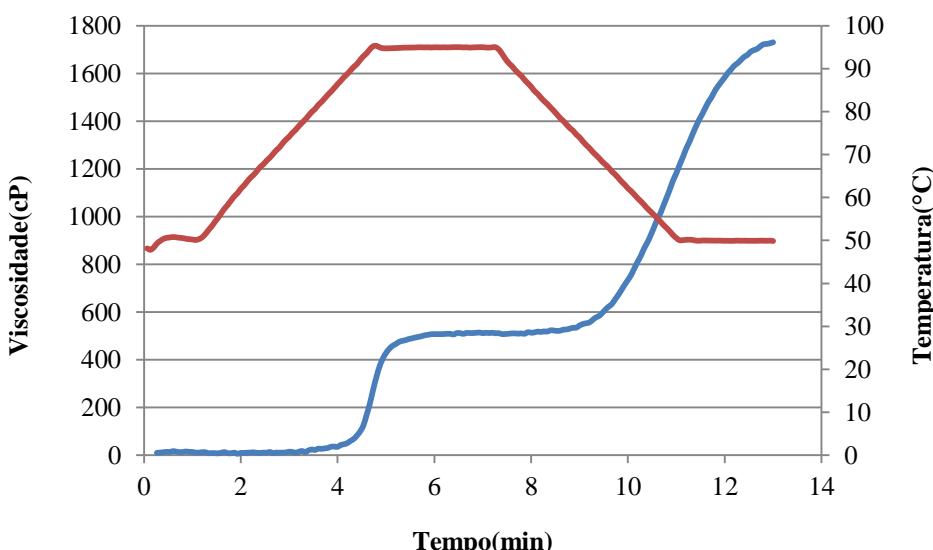
ANEXO L. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do grão integral de arroz



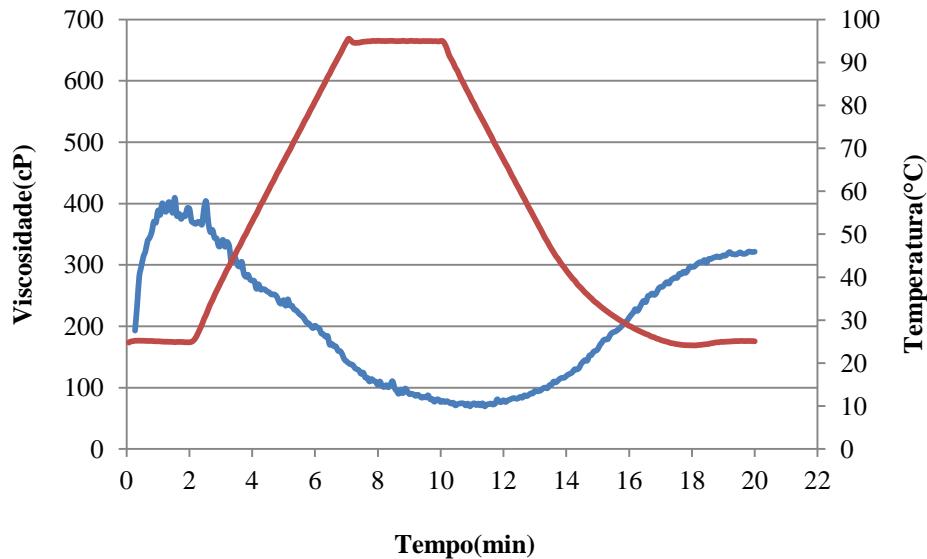
ANEXO M. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do grão integral de milho.



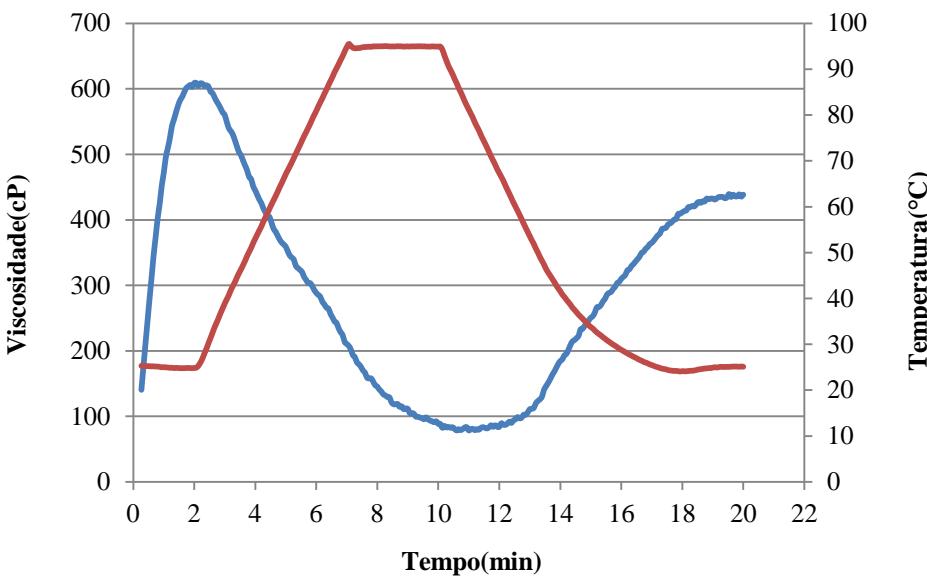
ANEXO N. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do grão integral de sorgo.



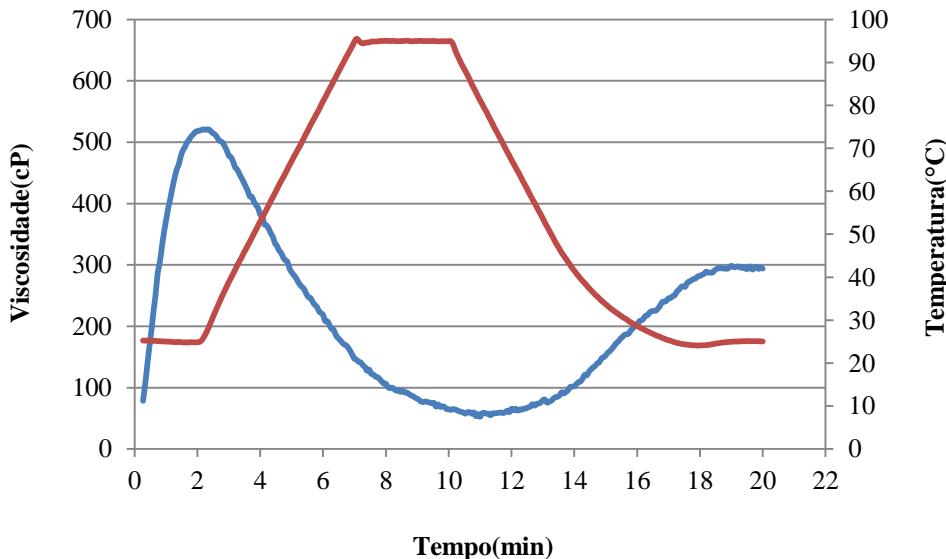
ANEXO O. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do Tratamento T1. Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%).



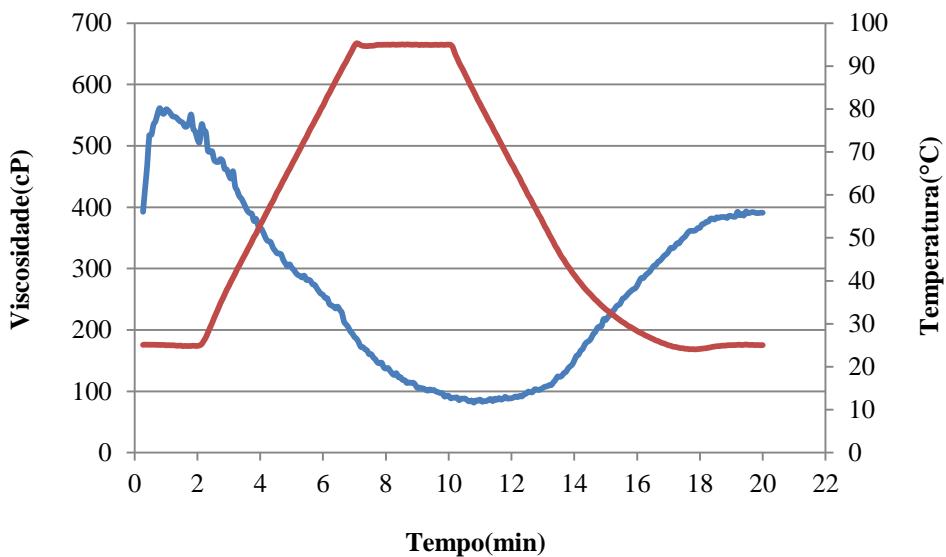
ANEXO P. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do Tratamento T2. Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T2: (15%; 70%; 15%).



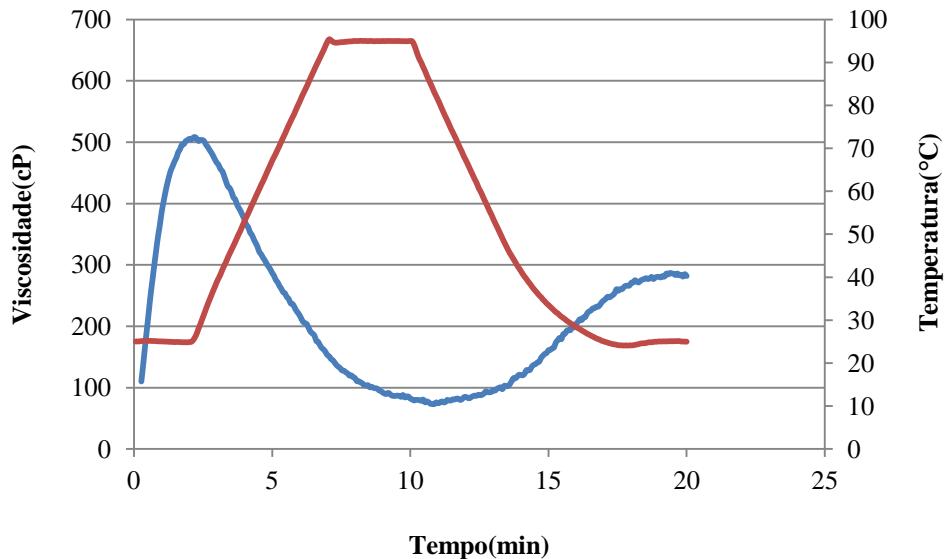
ANEXO Q. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do Tratamento T3. Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T3: (15%; 15%; 70%).



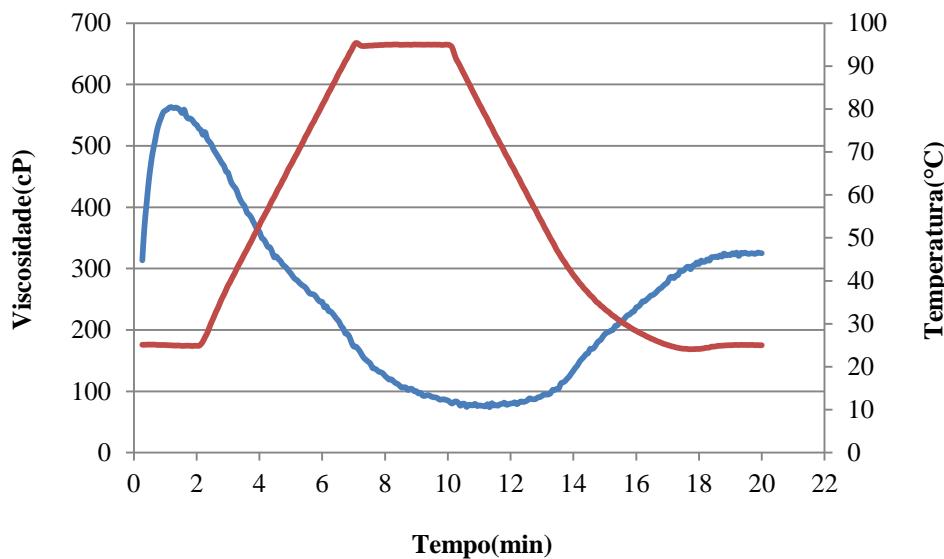
ANEXO R. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do Tratamento T4. Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%).



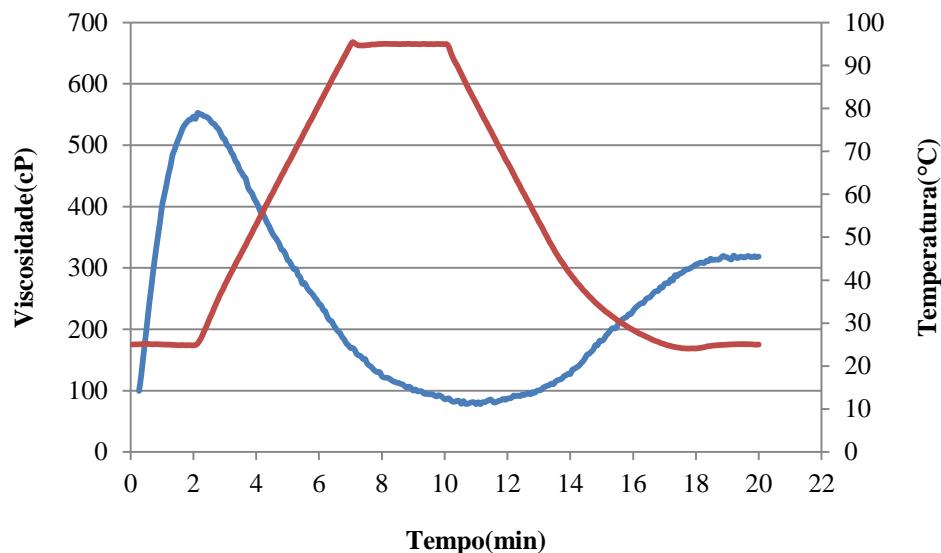
ANEXO S. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do Tratamento T5. Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%).



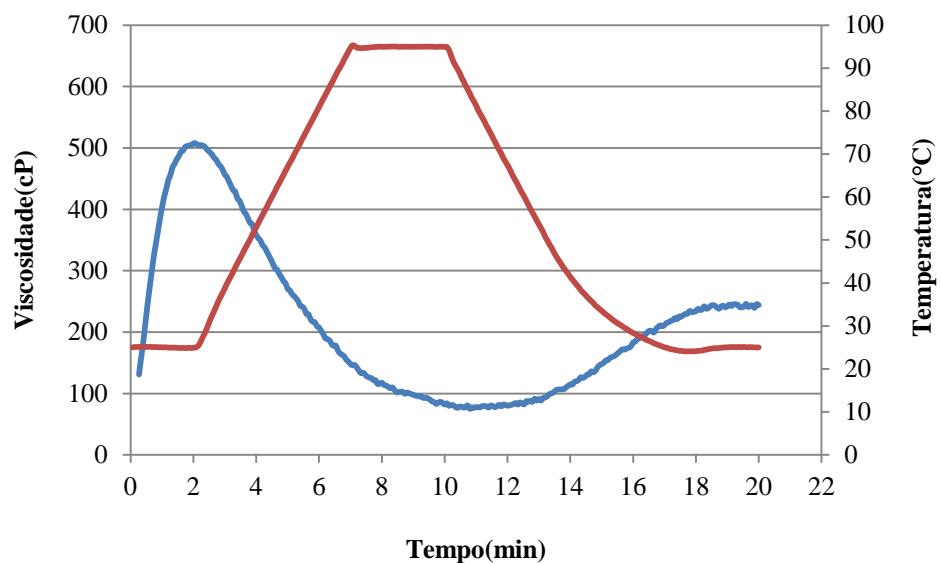
ANEXO T. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do Tratamento T6. Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%).



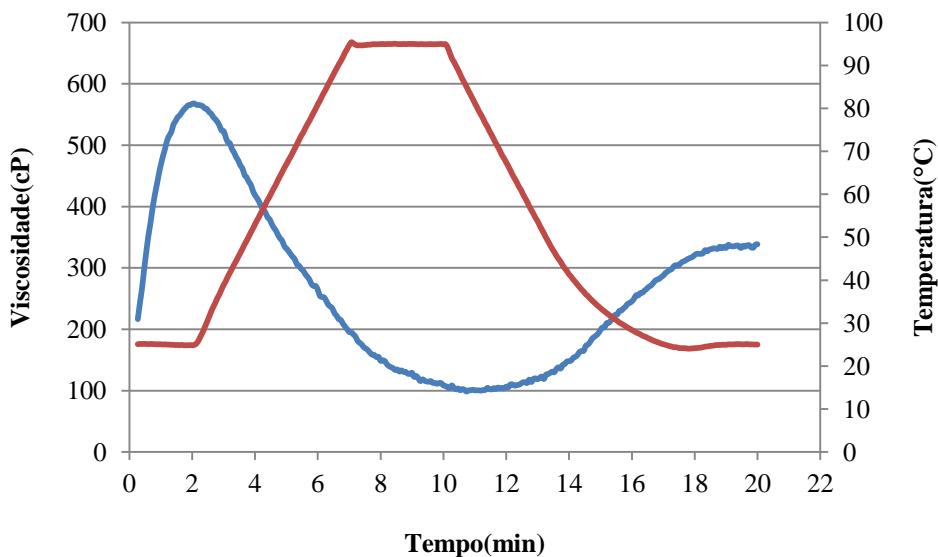
ANEXO U. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do Tratamento T7. Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T7: (33,3%; 33,3%; 33,3%).



ANEXO V. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do Tratamento T8. Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T8: (33,3%; 33,3%; 33,3%).



ANEXO W. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do Tratamento T9. Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz%, sorgo%); T9: (33,3%; 33,3%; 33,3%).



ANEXO X. Gráfico de Viscosidade de Pasta (tempo/temperatura) do Tratamento T10. Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz, sorgo%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

